

**UNTERSUCHUNGEN ZUR FRAGE DER ERKENNUNG,
KLASSIFIZIERUNG UND INVENTARISIERUNG
VON KRANKEN UND ABGESTORBENEN
KIEFERN IN INFRAROT-FARBFLUFTBILDERN**

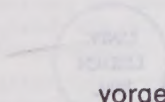
Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
zu Freiburg i. Br.

vorgelegt von
Mahmut Cağırıcı
aus Taşlıhöyük, Sivas, Türkei

1978

**UNTERSUCHUNGEN ZUR FRAGE DER ERKENNUNG,
KLASSIFIZIERUNG UND INVENTARISIERUNG
VON KRANKEN UND ABGESTORBENEN
KIEFERN IN INFRAROT-FARBBLUFTBILDERN**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
zu Freiburg i. Br.


vorgelegt von
Mahmut Çağırıcı
aus Taşlıhüyük, Sivas, Türkei

1978

dekan : Prof. Dr. H.J. Braun
Leiter der Arbeit : Prof. Dr. G. Hildebrandt
Referent : Prof. Dr. G. Hildebrandt
Korreferent : Prof. Dr. Dr. h.c. M. Prodan

Tag der Verkündigung des Prüfungsergebnisses: 6.11.1978

"Gedruckt mit Unterstützung der Friedrich-Ebert-Stiftung"



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
1.1. Problemstellung	4
1.2. Das verwendete Luftbildmaterial	8
1.3. Eigenschaften des Untersuchungsgebietes	9
1.3.1. Topographie, Geologie und Bodenverhältnisse	9
1.3.2. Klima und Hydrologie	10
1.3.3. Waldverhältnisse	10
2. DIE FRAGE DER FESTSTELLUNG DES JAHRES DES ABSTERBENS VON TOTEN KIEFERN	15
2.1. Auswahl und Charakter der Untersuchungsbestände	17
2.1.1. Der Charakter einzelner Bestände	17
2.1.2. Der Charakter einzelner Bäume	18
2.2. Vorarbeiten im Institut	21
2.3. Terrestrische Arbeit im Gelände	25
2.4. Die Auswertung der terrestrischen Arbeiten	38
2.4.1. Arbeitsprinzip des elektronischen Jahrringmeßgeräts von ADDO	38
2.4.2. Messung der Bohrspäne und die Ergebnisse	41
2.5. Messungen mit dem Densitometer	57
2.5.1. Das Densitometer	57
2.5.2. Meßmethode	59
2.5.3. Messungen	62
2.6. Die Auswertung der densitometrischen Messungen und Vergleich mit den Ergebnissen der terrestrischen Untersuchungen	62
2.7. Quantitative Interpretation mit Hilfe der Diskriminanzanalyse und Feststellung des Sicherheitsgrades mit der Varianzanalyse - Ergebnisse -	84
2.7.1. Diskriminanzanalyse (Trennverfahren)	85
2.7.2. Signifikanzprüfung	107

	Seite
3. DIE FRAGE DER FESTSTELLUNG VON "KRANKEN" KIEFERN	110
3.1. Auswahl und Charakter der Untersuchungsbestände	115
3.2. Vorarbeiten im Institut	121
3.3. Terrestrische Arbeit im Gelände	125
3.4. Messungen mit dem Densitometer	128
3.5. Vergleich der Ergebnisse der densitometrischen Messungen von kranken und gesunden Kiefern	129
3.6. Quantitative Interpretation mit Hilfe der Dis- kriminanzanalyse und Feststellung des Sicherheits- grades mit Varianzanalyse - Ergebnisse -	140
4. DIE FRAGE DER BILDORTABHÄNGIGKEIT DER ABBILDUNGS- BESTIMMTEN SCHADSYMPTOME IM LUFTBILD	158
4.1. Einleitung	158
4.2. Die Ergebnisse der quantitativen Auswertungen	163
5. PRAKTISCHE ERFAHRUNGEN BEI DER DURCHFÜHRUNG VON SCHAD- INVENTUREN UND HINWEISE FÜR DIE ANFERTIGUNG ENTSPRECHEN- DER GUTACHTEN	169
6. ZUSAMMENFASSUNG	178
7. LITERATURVERZEICHNIS	181

VORWORT

Während eines Praktikums im Sommer 1972 bei der Forstdirektion Koblenz und der Teilnahme an den Vorlesungen und Übungen über die forstliche Luftbildmessung und -interpretation an der Istanbuler Universität wurde mein besonderes Interesse an diesen beiden Fachgebieten geweckt. Daraufhin habe ich Herrn Prof. Dr. G. Hildebrandt, der im WS 1972/73 an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Istanbul als Gastprofessor tätig war, gebeten, bei ihm an seinem Institut in Deutschland eine Dissertation durchführen zu können.

Hier möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. G. Hildebrandt besonders dafür bedanken, daß er mir eine Praktikumsstelle in Deutschland und danach ein Stipendium bei der Friedrich-Ebert-Stiftung ermöglicht hat. Ebenso danke ich ihm herzlich für seine Betreuung und Förderung, die für den Fortgang und Abschluß der vorliegenden Arbeit unerläßlich war.

Der Friedrich-Ebert-Stiftung möchte ich meinen besten Dank aussprechen für ihre finanzielle Hilfe, die die Anfertigung dieser Arbeit und meinen Aufenthalt in der BRD ermöglicht hat.

Mein Dank gilt weiterhin Herrn cand. forest Jörg Henninger für seine Korrekturarbeiten und sprachlichen Verbesserungen.

Ferner danke ich Herrn Dipl.-Forstwirt Eberhard Bülk für die freundliche Unterstützung bei den terrestrischen Arbeiten, den Herren der Abt. Ertragskunde der Bad.-Württb. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt für Rat und Hilfe bei der Bohrspannungsmessung und Herrn cand. forest Christian Kirch für die geleisteten Photoarbeiten.

Herrn Helmut Müller möchte ich danken für die endgültige Reinschrift und das Zeichnen der Abbildungen der Arbeit.

Zahlreiche Ratschläge und Hilfen erhielt ich von den Mitarbeitern der Abteilung Luftbildmessung und -interpretation sowie anderen Freunden, die mich bei den densitometrischen Messungen unterstützten.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550803_0040

1. EINLEITUNG

Mit zunehmender Industrialisierung nehmen auch die Probleme der Umwelt zu. Die Verarbeitung von Rohstoffen wie z.B. Erzen, Steinen, Erde, Kohle, Öl usw. führt zu spezifischen i.d.R. wenig umweltfreundlichen Emissionen z.B. von SO_2 , HF, HCl, Kohlenwasserstoff, Stäuben usw.. In steigendem Maße kommt es dabei zu Konfliktsituationen zwischen den Interessen der Industrie und den auf Erhalt einer bestimmten Lebensqualität gerichteten Bedürfnisse der Bevölkerung oder auch der auf ökologisch ungestörte Umweltbedingungen angewiesenen Land- und Forstwirtschaft.

Schon seit mehr als 100 Jahren weiß man - und auch in der Literatur wird darauf hingewiesen, z.B. SCHRÖDER, J. v. 1883, HASELHOFF, E. und LINDAU, G. 1903 - daß Waldbestände in der Umgebung solcher Industrieanlagen sehr stark unter der Immissionsbelastung leiden.

In extremen Fällen kann dies zur totalen Zerstörung des Waldes und zum Zusammenbruch des Ökosystems führen.



Abb. 1: (Aus WENTZEL 1969, Abb. 16)

Abb. 1 zeigt eine solche bereits 1860 durch Emissionen einer Zinkhütte zerstörte, 182 ha große Waldfläche. "Über 100 Jahre" berichtet WENTZEL, K.F. (1969, S. 20) "liegt die Fläche nun kahl. Sie wird seither als Ödland geführt. Die Immissionen verursachten Vernichtung der Flora, Humusverarmung, Bodenvernichtung, Erhöhung der Bodenazidität und Erosion". Auch heute noch gibt es Beispiele dieser Art.

In weniger extremen Fällen und insbesondere auch dann, wenn durch technologische Sicherheitsmaßnahmen (Filterung und/oder Verbrennung der Abgase innerhalb der Anlage oder Bau höherer Schornsteine usw.) Emissionen quantitativ herabgesetzt werden, treten Waldzerstörungen großen Ausmaßes nicht mehr auf. Wohl aber kann es auch hier zu gravierenden, schleichenden, oft nur latent auftretenden Waldschäden kommen. Sie manifestieren sich in Zuwachsminderungen (Abb. 2), Verminderung der Widerstandsfähigkeit der Bäume und damit erhöhter Disposition für Sekundärschädlinge oder in einem Anstieg der Mortalität und damit in der Verlichtung der Bestände usw.. Die Feststellung und Inventarisierung solcher Schäden sowie die Beobachtung der Schadensentwicklung gehören zu jenen Aufgaben der Zustandserfassung, die in den letzten Jahren steigende Bedeutung erlangten.

Das herkömmliche und auch heute noch weitgehend angewandte Verfahren zur Erfassung solcher Immissionsschäden charakterisierte RÖHDE (1977) wie folgt: "Die anfänglichen Aufzeichnungen der Schäden an Bäumen erfolgten terrestrisch und qualitativ, wobei der Schädigungsgrad der Baumkrone geschätzt wurde.

Später traten Versuche quantitativer Auswertungen hinzu, indem die Belaubung von Teilen einzelner Baumkronen ausgewertet und die Bäume je nach Schädigungsgrad dieser Kronenteile in eine Schadklasse eingestuft wurden. Nach der Entwicklung von Wertziffern (z.B. WOLFF, LUX,¹⁾, u.a.) konnten dann relative Schädigungsgrade für ganze Bestände

1) Auch die Arbeiten von VINS (1961a, 1972) wären an dieser Stelle zu nennen.

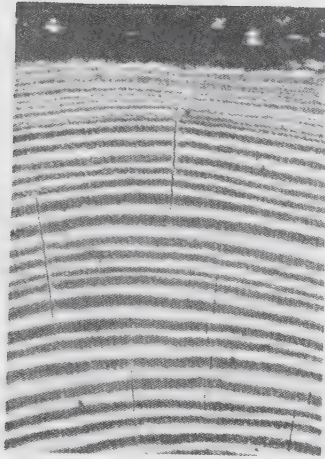


Abb.2a: "Bei den Bäumen schlägt sich eine abrupt einsetzende Immissionswirkung deutlich im Zuwachsverlauf nieder und kann nachträglich verfolgt werden. Jahrringbreiten einer Kiefer aus der nördlichen Randzone des Ruhrgebietes: nach zunächst befriedigendem Jugendwuchs, nachlassender und schließlich stagnierender Zuwachs."

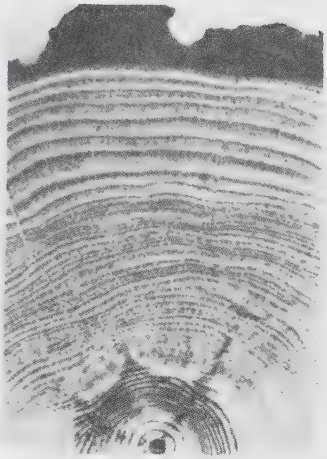


Abb.2b: "Gegenbeispiel zu Bild 11: Stammquerschnitt einer 75-jährigen Kiefer, die 65 Jahre lang im Stadtwald Düsseldorf 1 km von einer Großbrauchsstelle entfernt stand. Die Fabrik wurde nach dem Kriege demonstrier, darauf bedeutender Anstieg der Jahrringbreiten".

(aus WENTZEL 1969, Abb.11 u.12)

angegeben werden. Diese Art terrestrischer Schadenkartierung ist relativ kostspielig, zu subjektiv und zeitraubend. Nachteilig war auch, daß die Baumkronen nur vom Boden aus beurteilt werden konnten".

Abgesehen von solchen auf die allgemeine Beschreibung eines Schadzustandes gerichteten Erhebungen, sind auch einige Arbeiten zur Erfassung der Zuwachsverluste durch Immissionsschäden bekannt geworden (LUX 1965, VINS 1961a, WEIHE 1974 pers. Information, WENTZEL 1958), auf die im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit jedoch nicht weiter eingegangen wird.

Eine erste spezielle Untersuchung über Möglichkeiten der Einschätzung von Zuwachsverlusten (in Fichtenbeständen) allein auf Grund von Luftbildinterpretation wird zur Zeit von KENNEWEG durchgeführt. Erste Ergebnisse scheinen - mündlichen Mitteilungen zufolge - zu zeigen, daß für einzelne Bäume und Bestände Zuwachsverluste in Abhängigkeit von dem im Luftbild interpretierten Schädigungsgrad und der Zeit quantifizierbar sind.

1.1. P r o b l e m s t e l l u n g

Die in der Einleitung von ROHDE erwähnten Nachteile haben - beginnend in der Mitte der 60er Jahre - zu Überlegungen und Versuchen geführt, Emissionsschäden in Waldbeständen durch Luftbildinterpretation zu erfassen. Die zu dieser Zeit stark verbesserten Luftbildfarbfilme, insbesondere die jetzt verfügbaren Infrarot-Farbfilme und die ersten amerikanischen Berichte über erfolgreiche Interpretationen von Farb- und Infrarot-Farbluftbildern zur Erkennung von Pflanzenschäden in landwirtschaftlichen Kulturen (COLWELL 1956) und von Baumkrankheiten kamen dieser Entwicklung zu gute. So konnte HILDEBRANDT schon 1966 schreiben: "Noch informationsreicher sind für die Erkennung von Pflanzenkrankheiten Falschfarbenaufnahmen - aufgenommen mit amerikanischem camounflage detection film oder dem russischen Spektronzonalfilm. Mit ihnen können der Befallsgrad, der Anteil gesunder, schwach und stark geschädigter sowie bereits abgestorbener Bäume - auch z.B. bei Rauchschaden-erkannt und festgestellt werden".

WOLFF (1966) konnte zur gleichen Zeit Bildbelege vorstellen, die nachweisen, daß Emissionsschäden auf dem russischen Infrarot-Farbfilm, dem Spektronzonalfilm, gut erkennbar waren.

Schon bald danach wurden Farbfilme operationell für Emissionsschadinventuren eingesetzt. HELLER (1969) und WERT (1969) inventarisierten 1969 - unter Verwendung des Ansocrome D/200 Farbfilms - 40 000 ha Ponderosa-Kiefernwälder des San Barnadino National Forest bei

Los Angeles und 1970 20 000 ha des Angeles National Forest im Hinblick auf Emissionsschäden. KENNEWEG und HILDEBRANDT haben nach intensiven Untersuchungen in Villingen (HILDEBRANDT u. KENNEWEG 1968 und insb. KENNEWEG 1972), 1970 operationelle Inventuren auf 20 000 ha im Ruhrgebiet und seitdem in zahlreichen anderen Waldgebieten unter Verwendung von Infrarot-Farbfilmen durchgeführt (vgl. z.B. auch HILDEBRANDT und CAGIRICI 1975, 1978).

Zu den frühen Versuchen, Rauchschadeninventuren mit Hilfe der IR-Farbfilme durchzuführen, gehört auch die Arbeit von POLLANSCHÜTZ (1968) in Österreich. Im Gefolge dieser ersten insgesamt erfolgreichen Bemühungen stehen seitdem eine Fülle von weiteren Versuchen und operationellen Einsätzen in Nord-Amerika und mehreren europäischen Ländern.

Die nach mehr als 8 Jahren bei operationellem Einsatz des Infrarot-Farbfilms für Schadeninventuren gewonnenen Erfahrungen haben trotz der auch hier vorkommenden Probleme (vgl. z.B. KENNEWEG 1972) gezeigt, daß dieser Film für solche Inventuren besonders gut geeignet ist. KENNEWEG (1972) schreibt: "Es herrscht weitgehende Übereinstimmung in der Literatur darüber, daß abgestorbene Bäume im falschfarbigen Luftbild bei entsprechenden Bildmaßstäben sehr leicht erkennbar sind, mit größerer Sicherheit, als auf allen anderen Filmarten (...). Meist wird die Farbe der abgestorbenen Bäume als grün und blau bezeichnet, (....)".

Darüber hinaus läßt sich unter bestimmten Voraussetzungen auch der Grad der Schädigung im Infrarot-Luftbild ansprechen (WOLFF 1967, 1970, KENNEWEG 1970, 1972, KADRO 1973).

Trotz heute unbestrittener Erfolge der Luftbildinterpretation auf diesem Gebiet sind noch manche, für praktische Schadensinventuren bedeutsame Fragen offen.

Bei solchen Inventuren kann es darum gehen:

- 1) den Waldzustand im allgemeinen zu charakterisieren;
- 2) die Mortalität in den Beständen zu quantifizieren und deren räumliches Vorkommen zu beschreiben;
- 3) weitere nicht oder noch nicht letale Schaderscheinungen nach Lage und Ausmaß festzustellen;
- 4) ggf. auch eingetretene Zuwachsverluste zu ermitteln;
- 5) die Entwicklung des Schadbildes (Mortalität, nicht letale Schäden) im Zeitablauf festzustellen;
- 6) den (möglichen) Beziehungen zwischen erkannten Schäden sowie Schadentwicklungen einerseits und der Immissionsbelastung des Inventurraumes sowie dort vorhandenen Emittenden andererseits nachzugehen.

Sieht man zunächst von der Ermittlung der Zuwachsverluste ab, so kann nach den bisherigen Erfahrungen davon ausgegangen werden, daß die o.a. Aufgaben 1-3 und z.T. 6 durch e i n e zur richtigen Zeit erfolgte Bildbefliegung mit IR-Farbfilm und die sachgerechte Interpretation der dabei gewonnenen Luftbilder gelöst werden können. Die Feststellung einer Entwicklung (siehe oben Pkt. 5) und unter Umständen auch die Untersuchungen zu Pkt. 6 sind dagegen bisher auf die Auswertung mehrerer, in zeitlichem Abstand aufgenommener Luftbilder angewiesen. Dies ist sowohl finanziell aufwendig, als auch zeitlich langwierig. Hinzu kommt, daß dabei bestimmte Interpretationsprobleme auftauchen, die sich vor allem aus der unterschiedlichen Qualität der Bildserien ergeben (vgl. hierzu die Ausführungen im Kap. 2).

Es wurde daher in dieser Arbeit als e r s t e s versucht folgende Frage zu beantworten:

Läßt sich eine objektive, zuverlässige, billige und in kurzer Zeit durchführbare Arbeitsmethode entwickeln, die es erlaubt aus einer Bildserie die zurückliegende Entwicklung des Schadbildes und insbesondere der Mortalität feststellen?

Wesentlich wird dabei sein, ob es möglich ist, bei abgestorbenen Bäumen das Absterbejahr aus der farblichen Abbildung mit Hilfe eines Farbmeßgerätes zu ermitteln (s. Kap. 2).

Die bisherigen Erfahrungen verwiesen auf eine weitere Frage, die sich aus der bei Kiefern schwierigen Abgrenzung zwischen "noch gesunden" und "schon geschädigten" Bäumen ergibt. Die Abgrenzung ist schwierig und visuell nur beim Vorliegen deutlicher Farbunterschiede mit der notwendigen Zuverlässigkeit möglich. Feinere Farbunterschiede sind offenkundig einer objektiven visuellen Interpretation nicht zugänglich. Es wurde daher als z w e i t e s in dieser Arbeit die Frage gestellt, ob mit Hilfe eines automatischen Farbmeßgerätes die Trennung geschädigter Bäume schnell , objektiv und zuverlässig möglich ist. (s. Kap. 3).

Ein d r i t t e s meßmethodisches Problem, das mit den beiden ersten Fragen zusammenhängt und auch schon bei früheren Arbeiten (TZSCHIPKE 1974, SCHADE 1976, RÖHDE 1977, und zuvor grundsätzlich bei STEINER, MAURER und KILCHENMANN 1966) in die Untersuchungen einbezogen wurde, ist die Bildortabhängigkeit von Abbildungsparametern, z.B. der Helligkeit. So ist bekannt, daß die Objekterkennung von der Abbildungsart auf dem Luftbild beeinflusst wird. Daraus ergab sich die weitere Frage, ob für die Ergebnisse der o.a. ersten beiden Untersuchungen die Bildortabhängigkeit eine Rolle spielt. (s. Kap. 4) .

Losgelöst von diesen ersten drei methodischen Fragestellungen, jedoch

mit gleichem Luftbildmaterial und im gleichen Untersuchungsraum, wurden aufgrund von vier, im zeitlichen Abstand von zusammen drei Jahren (1974-1977) aufgenommenen IR-Farbluftbildserien nach der nun schon klassischen visuellen Methode Schadinventuren eines Kiefernwaldgebietes durchgeführt. Dabei konnte neben den vier Zustandsbildern auch die Entwicklung der Mortalität verfolgt werden.

Über diese Inventuren, deren Ergebnisse und die dabei praktisch gewonnenen Erfahrungen wird im abschließenden Kapitel 5 berichtet.

1.2. Das verwendete Luftbildmaterial

Für diese Arbeit wurden von der Firma Hansa-Luftbild im Sommer 1974 für eine Schadenuntersuchung hergestellte Infrarot-Farbaufnahmen verwendet.

Technische Daten

Aufnahme-Kamera	: Zeiss RMK 30/23
Film	: Kodak Aerochrome Infra 2443
Bildmaßstab	: ca. 1:5000
Aufnahmegebiet	: Östl. und südöstl. Wesel (Nordrhein-Westfalen)
Aufnahmedatum	: 30.8.1974
Aufnahmezeit	: ca. 12.00 - 13.00 Uhr
Längsüberdeckung	: ca. 60%
Querüberdeckung	: ca. 25%

Das Aufnahmematerial wurde freigegeben durch den Regierungspräsidenten in Münster/W unter der Nummer: 1868/74.

Davon verwendete Luftbilder

Aufnahme-Nr.	Aufnahme-Zeit	Flughöhe ü.NN	Verwendet im Kapitel
089	12.13	1276 m	2 und 4
090	12.13	1276 m	2 und 4
127	12.20	1276 m	2 und 4
128	12.20	1276 m	2 und 4
214	12.49	1276 m	3 und 4
215	12.49	1276 m	3 und 4
226	12.53	1276 m	3 und 4
227	12.53	1276 m	3 und 4

Die Bildqualität war sehr gut. Die Bilder ließen sich bezüglich allgemeiner Information über die Wald- und Landnutzungsverhältnisse bestens interpretieren. Zu beachten ist, daß die Bilder 089/090 einerseits und die Bilder 127/128 andererseits unterschiedliche Farbwerte aufweisen und dies obwohl sie offensichtlich derselben Filmrolle entnommen und nur 7 Minuten Zeitdifferenz aufweisen. Es stellte sich später heraus, daß der Maßstab der Luftbilder für die speziellen Fragestellungen nicht optimal war, weil die Kronen der untersuchten Kiefern verhältnismäßig klein abgebildet wurden (s. Kap. 2.12).

1.3. E i g e n s c h a f t e n d e s U n t e r s u c h u n g s - g e b i e t e s

1.3.1. Topographie, Geologie und Bodenverhältnisse

Das Untersuchungsgebiet gehört großräumig zur niederrheinischen Ebene. Es hat Anteile an der rechtsrheinischen Wald-Heide-Terrasse im Osten sowie an der Rheintiefenebene im Westen. Es steigt von Westen nach Osten hin allmählich an. Die Lippe sowie der Seitenkanal Wesel-Datteln

befinden sich im Zentrum des Untersuchungsgebiets und durchlaufen es in ost-westlicher Richtung.

Die ältesten in der niederrheinischen Ebene zutage tretenden Schichten sind tertiären Ursprungs. Sie umfassen Kies, Sand und Ton und bereiten durch ihre z.T. wasserstauenden Eigenschaften der Land- und Forstwirtschaft Schwierigkeiten. Östlich des Niederrheins sowie an der Lippemündung kam es in diesem Raum auch zur Aufwehung umfangreicher Dünen. (In Anlehnung an HESMER 1958).

1.3.2. Klima und Hydrologie

Durch den vorwiegend ozeanischen Einfluß herrscht im Untersuchungsraum wie im übrigen Nordrhein-Westfalen ein temperaturmäßig ausgeglichenes Klima. Für die Niederschläge ergeben sich relativ geringe mittlere Jahresdurchschnittswerte. Das Untersuchungsgebiet gehört zum niederschlagsarmen nördlichen Teil der niederrheinischen Tiefebene. Die Hauptniederschlagsmenge fällt hier normalerweise im Spätsommer bis Herbst (Tab.1a,1b und Abb. 3 und 4).

1.3.3. Waldverhältnisse

Am südwestlichen Rand des Münsterlandes und in dem zum Untersuchungsgebiet gehörenden Teil des niederrheinischen Flachlandes stehen überwiegend Kiefernbestände. Auch neben den Kiefern (*pinus silvestris*) treten als weitere Nadelbaumarten in geringem Umfang Bestände von Fichte, Lärche, Weymouthskiefer und Douglasie auf. Unter den Laubholzbeständen dominieren die Eichen. In geringem Umfang treten Birken und Buchen (besonders in Mischung mit Eichen) sowie Bestände von Erlen, Roteichen und Pappeln auf. Anderen vereinzelt vorkommenden Baumarten wie Linden und Sorbusarten kommen keine Bedeutung zu.

Die Nadelholzbestände kommen vorwiegend als gleichaltrige Reinbestände

bzw. als Reinbestände mit geringer Laubholzbeimischung vor. Der Pflegezustand der Bestände ist unterschiedlich, in vielen Fällen jedoch als mäßig bis schlecht zu bezeichnen.

Die Wälder im Untersuchungsgebiet sind fast durchweg Privatwälder; kleinere Betriebseinheiten überwiegen. Einige wenige kleine Flächen des Staats- und Körperschaftswaldes befinden sich in Streulagen zwischen dem Privatwald.

Tab. 1b: Monatliche und jährliche Niederschläge im Zeitraum 1953 - 1974 im Untersuchungsgebiet ¹⁾

	1974	1973	1972	1971	1970	1969	1968	1967	1966	1965	1964	1963	1962	1961	1960	1959	1958	1957	1956	1955	1954	1953	Langj. mtl. Mittelwert
Januar	64	29	23	52	44	42	87	46	49	100	19	18	89	102	78	59	119	42	79	53	55	18	58
Februar	39	51	19	31	115	64	25	47	97	20	33	16	60	58	37	5	81	114	18	45	36	43	48
März	49	26	59	40	67	48	58	62	74	40	32	64	47	43	18	50	22	66	42	53	40	9	46
April	15	67	74	41	108	82	10	36	68	114	45	39	58	91	37	33	44	12	34	33	28	47	51
Mai	59	71	84	32	54	71	84	57	81	73	39	56	72	50	59	42	78	82	31	93	52	29	61
Juni	56	35	70	121	43	57	101	58	78	99	71	125	17	93	35	21	76	56	104	60	79	123	72
Juli	79	73	121	52	120	74	71	46	111	139	38	39	91	100	119	49	98	112	163	44	165	81	90
August	72	16	86	44	30	103	144	93	116	67	48	77	63	61	120	73	86	89	128	56	136	74	81
Septemb.	108	65	55	29	53	7	146	60	27	50	44	58	91	47	101	6	52	192	92	52	59	27	65
Oktober	116	70	13	22	87	15	81	65	71	20	76	57	28	116	120	42	100	41	74	77	101	9	64
November	97	73	54	79	72	51	51	73	96	96	61	96	20	74	113	36	26	33	36	33	59	8	61
Dezember	75	65	28	33	43	25	17	89	175	170	61	15	105	149	85	65	77	42	46	70	56	52	70
Jährliche Mittelw.	829	641	686	576	839	639	875	732	1043	998	567	660	741	984	922	481	825	881	847	715	866	520	767 mm

1) Diese Daten wurden 20-25 km nördlich des Untersuchungsgebietes von der nächst nahe liegenden Wetterstation Bocholt hinzugezogen (Deutscher Wetterdienst 1953-1974).

Abbildung 3

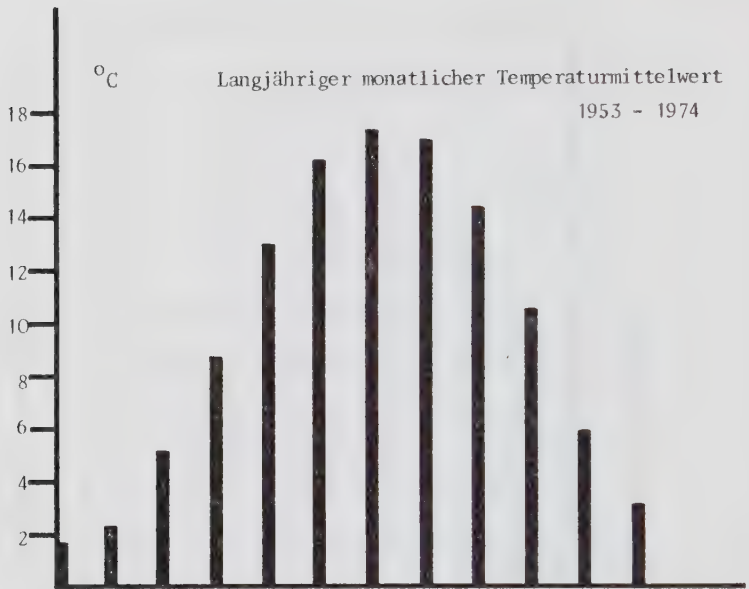
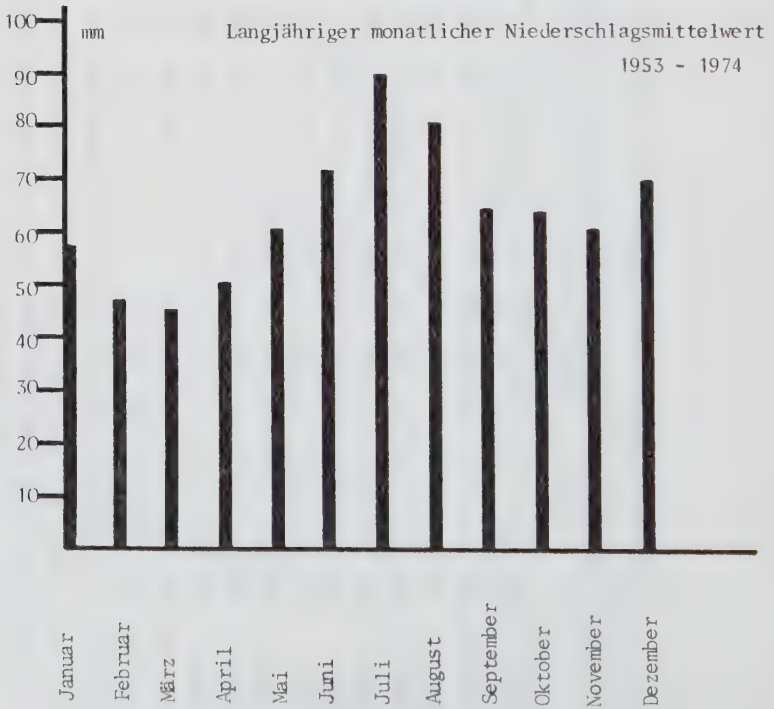


Abbildung 4



2. DIE FRAGE DER FESTSTELLUNG DES JAHRES DES ABSTERBENS VON TOTEN KIEFERN

Vor dem Hintergrund der im Kapitel 1 dargelegten allgemeinen Probleme der Schadinventuren in Waldgebieten und der speziellen methodischen Entwicklungen, die sich nach Einbeziehung von Luftbildauswertungen bei der Erfassung von Immissionsschäden ergaben, wird im folgenden Kapitel 2 der Frage der Feststellung des Absterbejahres immissionsgeschädigter Kiefern durch Luftbildinterpretation nachgegangen.

Aus bisherigen Untersuchungen und Erfahrungen verschiedener Inventuren ist bekannt, daß die abgestorbenen Bäume auf den IR-Farbluftbildern in zum Teil verschiedenen Farben, wie z.B. hellgrün, grün, blau, grau usw. abgebildet werden. (CORTEN 1966, WOLFF 1967, KENNEWEG 1972, HILDEBRANDT/CAGIRICI 1975).

KENNEWEG (1972) stellt dazu fest: "Die Frage, ob solche Bäume in voller Verfärbung auf dem falschfarbigen Bild fahlgrau, strohfarben, grüngrau oder ganz grün bzw. blau erscheinen, hängt nach hiesigen Erfahrungen davon ab, seit wie langer Zeit das Blattwerk bereits abgestorben ist".

Von diesen Beobachtungen ausgehend wird in diesem Kapitel versucht folgende Frage zu klären:

In wie weit läßt sich mit Hilfe der densitometrischen Farbmessung bei als abgestorben erkennbaren Kiefern ein Zusammenhang zwischen der abgebildeten Farbe und dem Jahr des Absterbens ableiten?

Eine objektive Zuordnung von Farbanteilen einzelner Bäume zu definierten Absterbejahren würde helfen, folgende Probleme bei Schadinventuren zu lösen:

- a) Finanzielle Vorteile durch Einsparung mehrerer Befliegungstermine;
- b) zeitliche Ersparnis durch mögliche Beschränkung der Auswertung auf eine anstelle mehrerer im zeitlichen Abstand aufgenommener Bildserien;
- c) Minimierung von Interpretationsfehlern auf Grund unterschiedlicher Sensibilität und der verwendeten Filmemulsionen, Beleuchtungsdifferenzen und unterschiedlicher Tages- und Jahreszeiten der Aufnahme;
- d) schnelleres und leichteres Beweisen der Kausalität zwischen Emissionen und immissionsbedingtem Absterben von Bäumen in der zeitlichen Abfolge.

Die Untersuchung wurde von vornherein auf densitometrische Farbmessungen abgestellt. Diese unter einem Spiegelteleskop durchgeführten Schadinventuren auf Luftbildern (z.B. HELLER 1969, WERT 1969, KENNEWEG/HILDEBRANDT 1968, KENNEWEG 1972, HILDEBRANDT/CAGIRICI 1975, 1978) sind zwar gegenüber nur terrestrischen Schadansprachen objektiver; im Vergleich zu Farbwert-Messungen im Luftbilddiapositiv (mittels Densitometer, Mikrodensitometer oder Spektralphotometer) ist die visuelle Luftbildauswertung jedoch immer noch subjektiv.

Aufgrund eigener Interpretationserfahrungen mußte vermutet werden, daß bei den hier untersuchten Kiefernbeständen (im Gegensatz zu den von KENNEWEG vorwiegend interpretierten Fichten) eine rein visuelle Einschätzung der Farben der Kronenabbildungen unter dem Spiegelstereoskop nicht ausreichen würde und nicht sicher und objektiv genug durchzuführen ist. Es liegen hier neben einigen deutlichen auch vielfach nur sehr geringe Farbunterschiede bei den Kronenabbildungen abgestorbener Kiefern vor. Diese geringen Unterschiede lassen sich mit dem Auge nicht mehr oder nicht mehr sicher unterscheiden und zuverlässig einordnen.

Es kommt hinzu, daß diese Untersuchungen auch im Hinblick auf mögliche computergestützte Auswerteverfahren auf Farbmeßverfahren aufgebaut werden sollten, die ggf. digital weiterverarbeitet werden können.

Bei der hier vorliegenden Arbeit kam das Densitometer - MACBETH TD-102- zum Einsatz (s. Kap. 2.5.1).

2.1. Auswahl und Charakter der Untersuchungsbestände

Zur Untersuchung wurden ältere Baumholzkiefernbestände ausgewählt, die ca. 65-70 Jahre alt sind. Im Untersuchungsgebiet, das sich im nordwestlichen Bereich des Ruhrgebietes zwischen Lippe-A3 (E 36) und Drevenack befindet mit überwiegend Bauern- und Kleinprivatwäldern, zählen Bestände dieses Alters bereits zu den älteren.

Die Auswahl der Untersuchungsbestände wurde sowohl nach dem Charakter der einzelnen Bestände als auch nach Kriterien der im Bestand vorkommenden Bäume getroffen.

2.1.1. Der Charakter einzelner Bestände

- a) In jedem Bestand mußten sich mehrere tote Bäume befinden, deren Abbildung auf dem Luftbild in verschiedenen Farben wiedergegeben werden, z.B. weißblau, blau, grün, grau.
- b) Die Bestände sollten sich nach Möglichkeit mindestens auf zwei Luftbildern befinden, damit für dieselben Bäume mehrere Meßmöglichkeiten gegeben sind und stereoskopische Betrachtung möglich ist.
- c) Die Untersuchungsbestände sollten sich in verschiedenen Bildortsbereichen befinden, weil die Frage der Bildortabhängigkeit der

Abbildung bestimmter Schadsymptome im Luftbild mit untersucht werden sollte.

- d) Die Untersuchungsbestände sollten ganz deutlich und klar erkennbare Abgrenzungen sowohl auf dem Luftbild als auch im Gelände haben.

2.1.2. Der Charakter einzelner Bäume

Als Untersuchungsbestände kamen solche in Frage, in denen für die vorgesehenen Messungen brauchbare Bäume vorhanden waren.

- a) Um die Hauptfrage zu beantworten, mußte man einzelne Bäume auswählen können, die sowohl im Gelände als auch auf dem Luftbild genau zu finden und deren äußerliche Merkmale richtig und möglichst eindeutig zu beschreiben sind. D.h. sie mußten vor allem ansprechbar sein, ob sie gesund, krank oder tot sind.
Für beides eigneten sich ältere Bäume besser, da sie im Gelände und auf dem Luftbild leichter und sicherer zu finden und einander zuzuordnen sind als die jungen und mittelalten Bäume. Auch die Schadsymptome treten bei älteren Bäumen in der Regel ausgeprägter in Erscheinung.
- b) Auch eigneten sich die älteren Kiefern mit ihrer größeren Kronenabbildung auf den Luftbildern besser für genauere und sichere Messungen mit dem Densitometer, dessen kleinste Blende 0,5 mm betrug.

Aufgrund dieser Kriterien und Gesichtspunkte wurden folgende Untersuchungsbestände ausgewählt:

Untersuchungsbestand I : Im Bild-Nr. 089-090 (s. Abb. 5)

Untersuchungsbestand II: Im Bild-Nr. 127-128 (s. Abb. 6)

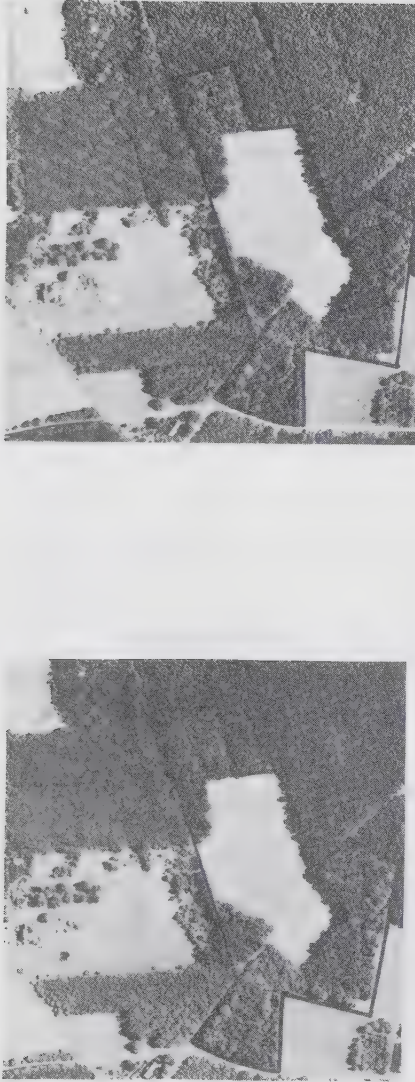


Abb. 5: Untersuchungsbestand I Luftbild Nr. 090 (links), 0 89 (rechts)
Freigegeben durch den Regierungspräsidenten in Münster/W unter der Nr. 1868/74
(im Original IRC-Diafilm Kodak Aerochrome Infra 2443).

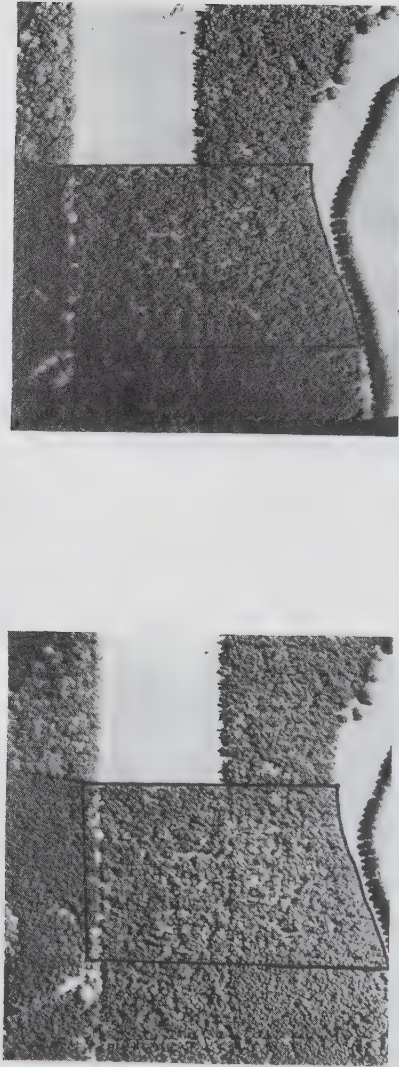


Abb. 6: Untersuchungsbestand II Luftbild Nr. 127 (links), 128 (rechts)
Freigegeben durch den Regierungspräsidenten in Münster/W unter der Nr. 1868/74
(Im Original IRC-Diafilm Kodak Aerochrome Infra 2443).

2.2. V o r a r b e i t e n i m I n s t i t u t

Aus den ausgewählten Untersuchungsbeständen wurden einzelne tote Bäume ausgesucht (s. Abs. 2.1). Die Luftbilder, auf denen sich die Untersuchungsbestände befinden, wurden auf dem Leuchttisch unter einem ZEISS-Spiegel-Stereoskop nach "Kernstrahlen" orientiert. Hier diente das Stereoskop dazu, die einzelnen Baumkronen richtig zu identifizieren und die Baumart (Kiefer oder Laubbaum) sowie die soziologische Stellung im Bestand festzustellen. Dann wurde auf dem rechten Luftbild in der Größe des Luftbildes eine Transparentfolie aufgeklebt und darauf die ausgesuchten toten Bäume und die in deren Nachbarschaft stehenden Bäume mit schwarzer Tusche durch einen Punkt markiert. Hier diente die Folie dazu, das Luftbild zu schützen, weil für die später vorgesehenen densitometrischen Messungen die Luftbilder sauber bleiben mußten.

Das rechte Luftbild mit der aufgeklebten Folie wurde auf einen Tageslichtprojektor (Overheadprojektor) gelegt und die Abbildung der Untersuchungsbestände mit den markierten Stellen an eine Leinwand geworfen. Auf einem dort befestigten Papierbogen erfolgte die partielle Kartierung der Kronenprojektion, bestimmter Bestandesbesonderheiten und Orientierungshilfen (Wege, Nachbarbestände usw.). Im folgenden wird die so entstandene Karte als "L u f t b i l d a u f z e i c h n u n g s p l a n" ¹⁾ bezeichnet. Außer den Kronen der toten und der diese umgebenden Kiefern wurden auch eingesprengte Laubbäume, Waldwege, Waldblöse, Waldschneisen und andere besondere Merkmale z.B. eine Waldhütte, ein umgefallener Baum usw. sowie die den Untersuchungsbestand angrenzenden Waldbestände oder landwirtschaftlichen Flächen eingetragen.

1) ROHDE (1977) bezeichnet dies als "Kronenkarte",
IJAWADI (1977) als "Kronenprojektionskarte".

Es wurden folgende "Luftbildaufzeichnungspläne" hergestellt:

Untersuchungs- bestand Nr.	Luftbild-Nr.	Maßstab des Luftbildes	Maßstab des Aufzeich- nungsplanes	Abb. Nr.
I	089	ca. 1:5000	ca. 1:735	7
II	127	ca. 1:5000	ca. 1:724	8

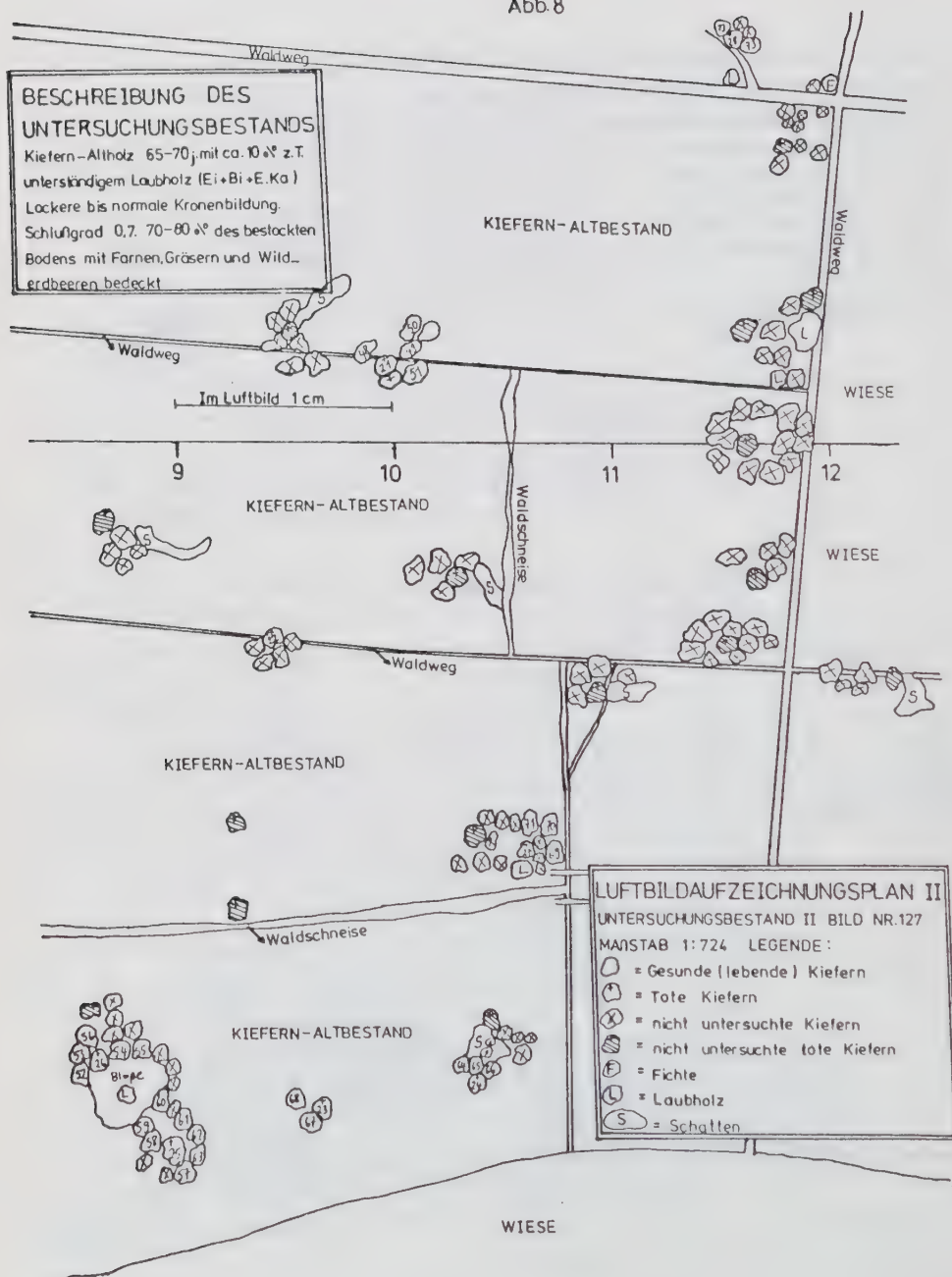
Der Luftbildaufzeichnungsplan wurde für folgende Zwecke angefertigt:

- Die vorhandenen Luftbilder waren Diapositive, deren Benutzung nur mit einem Leuchttisch möglich war, den man im Gelände nicht zur Verfügung hatte. ¹⁾ Anstatt eines Leuchttisches wurde der mit vergrößertem Maßstab gezeichnete Aufzeichnungsplan wie ein vergrößerter Luftbildabzug verwendet.
- Der Aufzeichnungsplan diente ferner als Beweispapier, auf dem man die Nummern von toten und lebenden Untersuchungsbäumen eintragen und mit dessen Hilfe man dieselben Bäume auf dem Luftbild wiederfinden konnte.
- Der Aufzeichnungsplan diente außerdem dazu festzustellen, ob der aufgezeichnete Baumkronendurchmesser für die densitometrischen Messungen geeignet war, d.h. ob die Kronenabbildung auf dem Luftbild im Durchmesser kleiner, gleich oder größer als 0,5 mm war (s. Kap. 2.5.2.).

Die oben genannten Vorarbeiten waren zur verhältnismäßig sicheren Fortsetzung der terrestrischen Arbeiten notwendig.

-
- "Nunmehr ist eine Verbesserung und Erweiterung der Interpretationsmöglichkeiten von Farbbilddiapositiven durch einen neu entwickelten, relativ einfachen transportablen Leuchtkasten, der auch im Gelände mit Strom versorgt werden kann, zu erwarten. Damit können Luftbilder auch im Bestand an Ort und Stelle zur besseren Auswertung mit dem Stereoskop betrachtet werden". ROHDE (1975). Dieser Leuchtkasten stand jedoch für diese Arbeit nicht zur Verfügung.

Abb. 8



2.3. Terrestrische Arbeit im Gelände

Die terrestrischen Arbeiten wurden im Dezember 1974 durchgeführt und erfüllten folgenden Zweck:

Im Gelände wurde der Reihe nach geprüft, ob die durch Luftbildinterpretation als tot erkannten und daher im "Luftbildaufzeichnungsplan" kartierten Bäume tatsächlich abgestorben und im Bestand noch vorhanden waren.

Die gefundenen toten Bäume und deren bereits mitkartierten lebenden Nachbarbäume wurden durch einen Spray mit einer Nummer gekennzeichnet und zwar mit folgenden Farben: gelb für tote, grün für gesunde Bäume. Diese Nummern wurden auch auf dem "Luftbildaufzeichnungsplan" eingetragen (s. Tabelle 2 und Sp. 1).

Danach wurde die Höhe jedes Baumes drei mal mit einem BLUME-LEISS-Baumhöhenmesser gemessen und der ermittelte Durchschnittswert in eine Liste eingetragen (s. Tabelle 2 und Sp. 3).

Jeder nummerierte Baum, gleich ob tot oder lebend, wurde schließlich nach seinem Kronen- und Benadelungszustand beschrieben (s. Tabelle 2 und Sp. 5).

Nach diesen terrestrischen Beobachtungen wurde der Kronenzustand der Untersuchungsbäume nach folgenden Kriterien klassifiziert:

Gesunde Bäume	Ga : Guter Zustand der Krone (s. Abb. 9)
	Gb : Kurze Nadeln und verbuschte Krone (s. Abb. 10)
	Gc : Kurze Nadeln und lockere Krone (s. Abb. 11)
Tote Bäume	Ta : Noch mit den letzten abgestorbenen Nadeln (s. Abb. 12 u. 13)
	Tb : Noch mit den letzten abgestorbenen Zweigen (s. Abb. 14 u. 15)
	Tc : Nur noch mit Ästen (Skelett) (s. Tabelle 2, Sp. 3 und Abb. 16)

Tabelle 2:

Untersuchungs- baum Nr.	Gesundheits- zustand	Ermittelte Höhe	Bohrspan- tute Nr.	Besondere Merkmale nach 1. Terrestrischer Unter- suchung im Dez. 74	Besondere Merkmale nach 2. Terrestrischer Unter- suchung im Okt. 75
1	Ga	16,05	G1	Guter Zustand der Krone	Krone abgebrochen
2	Ga	14,50	G2	Guter Zustand der Krone	
3	Gc	12,60	G3	Unterständiger Baum schwache Kronenbildung	
4	Ga	13,70	G4	Guter Zustand der Krone	
5	Ga	15,60	G5	Guter Zustand der Krone	
1	Tb	15,00	T1	Noch mit den letzten ab- gestorbenen Zweigen ohne Nadeln	wurde abgeholzt
6	Gc	15,40	G6	Zwei Kronenbildungen da- von eine tot	
7	Gc	14,05	G7	Kurze Nadeln und lockere Krone	
8	Gb	15,50	G8	verbuschte Krone	
2	Tb	14,20	T2	Noch die letzten abge- storbenen Zweige ohne Nadeln	
9	Ga	13,15	G9	Guter Zustand der Krone	wurde abgeholzt
10	Ga	15,40	G10	Guter Zustand der Krone	
3	Ta	14,25	T3	Noch mit den letzten zweijährigen toten Nadeln	
11	Gc	14,10	G11	Kurze Nadeln und lockere Krone	
12	Gc	11,00	G12	Kurze Nadeln und lockere Krone	
13	Ga	11,40	G13	Guter Zustand der Krone	wurde abgeholzt
14	Gc	12,10	G14	Kurze Nadeln und lockere Krone	
15	Gc	15,55	G15	Kurze Nadeln und ver- buschte Krone	
16	Gc	14,50	G16	Kurze Nadeln und lockere Krone	

Tabelle 2: Fortsetzung

Untersuchungs- baum Nr.	Gesundheits- zustand	Ermittelte Höhe	Bohrspan- tüte Nr.	Besondere Merkmale nach 1. Terrestrischer Unter- suchung im Dez. 74	Besondere Merkmale nach 2. Terrestrischer Unter- suchung im Okt. 75
4	Ta	11,70	T4	Noch mit den letzten zweijährigen toten Nadeln	
5	Tc	13,20	T5	Nur noch mit den Ästen (Skelett)	
6	Ta	14,80	T6	Halbtot, d.h. die un- tersten Äste leben noch	
17	Gc	17,20	G17	Kurze Nadeln und ver- buschte Kronen	
18	Gc	19,00	G18	Kurze Nadeln und ver- buschte Kronen	
19	Gc	19,00	G19	Kurze Nadeln und ver- buschte Kronen	
7	Tb	14,80	T7	Noch mit den letzten ab- gestorbenen Zweigen ohne Nadeln	Baum ist umgefallen
20	Gb	18,70	G20	Verbuschte Krone	
21	Gb	14,40	G21	Verbuschte Krone	
22	Ga	14,40	G22	Guter Zustand der Krone	
23	Ga	16,00	G23	Guter Zustand der Krone	
24	Ga	21,10	G24	Guter Zustand der Krone	
8	Tb	15,30	T8	Noch mit den letzten ab- gestorbenen Zweigen ohne Nadeln	Baum ist umgefallen
25	Gc	15,80	G25	Kurze Nadeln und lockere Krone	
26	Gc	16,10	G26	Kurze Nadeln und lockere Krone	
27	Gc	14,50	G27	Kurze Nadeln und lockere Kronen	
28	Gc	17,40	G28	Die untersten Äste sind abgestorben	

Tabelle 2: Fortsetzung

Untersuchungs- baum Nr.	Gesundheits- zustand	Ermittelte Höhe	Bohrspan- tute Nr.	Besondere Merkmale nach 1. Terrestrischer Unter- suchung im Dez. 74	Besondere Merkmale nach 2. Terrestrischer Unter- suchung im Okt. 75
9	Tb	15,90	T9	Noch mit den letzten ab- gestorbenen Zweigen ohne Nadeln	
29	Ga	13,50	G29	Guter Zustand der Krone	
30	Gc	16,60	G30	Kurze Nadeln und lockere Krone	
31	Gc	16,40	G31	Kurze Nadeln und lockere Krone	
32	Gc	15,50	G32	Kurze Nadeln und lockere Krone	
33	Ga	14,50	G33	Guter Zustand der Krone	
10	Tc	14,80	T10	Nur noch mit den Ästen (Skelett)	
34	Ga	14,00	G34	Guter Zustand der Krone	
11	Tb	10,40	T11	Noch mit den letzten abge- storbenen Zweigen ohne Nadeln	wurde abgeholzt
12	Tb	11,05	T12	Noch mit den letzten abge- storbenen Zweigen ohne Nadeln	wurde abgeholzt
47	Ga	14,20	G47	Guter Zustand der Krone	
13	Tc	12,05	T20	Nur noch mit den Ästen (Skelett)	
35	Gc	13,20	G35	Kurze Nadeln und ver- buschte Kronen	wurde abgeholzt
36	Ga	14,90	G36	Guter Zustand der Krone	
37	Ga	15,50	G37	Guter Zustand der Krone	
14	Tb	13,20	T14	Noch mit den letzten ab- gestorbenen Zweigen ohne Nadeln	

Tabelle 2: Fortsetzung

Untersuchungs- baum Nr.	Gesundheits- zustand	Ermittelte Höhe	Bohrspan- tüte Nr.	Besondere Merkmale nach 1. Terrestrischer Unter- suchung im Dez. 74	Besondere Merkmale nach 2. Terrestrischer Unter- suchung im Okt 75
15	Tc	13,70	T15	Skelett	wurde abgeholzt
38	Ga	13,70	G38	Guter Zustand der Krone	
39	Gb	14,80	G39	Kurze Benadelung	
40	Gc	14,85	G40	Kurze Benadelung und lockere Krone	
41	Gb	14,10	G41	Verbuschte Krone	
42	Ga	15,30	G42	Guter Zustand der Krone	
16	Tb	13,60	T16	Noch mit den letzten ab- gestorbenen Zweigen ohne Nadeln	
43	Gc	13,50	G43	Kurze Nadeln und lockere Krone	
44	Gc	15,30	G44	Kurze Nadeln und lockere Krone	
45	Gc	13,80	G45	Kurze Nadeln und lockere Krone	
46	Ga	15,50	G46	Guter Zustand der Krone	
17	Ta	13,90	T17	Die letzte 15 Jahre alte Krone tot	
18	Ta	15,40	T18	Die letzte 12 Jahre alte Krone tot	

Tabelle 3:

Untersuchungs- baum Nr.	Gesundheits- zustand	Ermittelte Höhe	Bohrspan- tute Nr.	Besondere Merkmale nach 1. Terrestrischer Unter- suchung im Dez. 74	Besondere Merkmale nach 2. Terrestrischer Unter- suchung im Okt. 75
48	Ga	19,00	G48	Guter Zustand der Krone	
49	Gc	16,00	G49	Kurze Nadeln und lockere Krone	
50	Ga	20,50	G50	Guter Zustand der Krone	
51	Gb	19,60	G51	Kurze Nadeln und ver- buschte Krone	
21	Tc	18,50	T21	Nur noch mit den Ästen (Skelett)	
22	Tc	14,00	T22	Nur noch mit den Ästen (Skelett)	
67	Ga	18,40	G67	Guter Zustand der Krone	
68	Ga	16,20	G68	Guter Zustand der Krone	
23	Tb	14,50	T23	Noch mit den letzten ab- gestorbenen Zweigen ohne Nadeln	
64	Ga	16,05	G64	Guter Zustand der Krone	
65	Ga	15,40	G65	Guter Zustand der Krone	
66	Ga	15,00	G66	Guter Zustand der Krone	
24	Tb	13,70	T24	Grün, d.h. nur die Zweige	
52	Ga	15,00	G52	Guter Zustand der Krone	
53	Ga	13,80	G53	Guter Zustand der Krone	
54	Ga	17,10	G54	Guter Zustand der Krone	
55	Ga	17,10	G55	Guter Zustand der Krone	
56	Gb	16,40	G56	Guter Zustand der Krone	
26	Ta	16,60	T26	Hellgrün, noch mit to- ten Nadeln	
57	Ga	14,50	G57	Guter Zustand der Krone	
58	Ga	18,25	G58	Guter Zustand der Krone	
59	Ga	18,50	G59	Guter Zustand der Krone	

Tabelle 3: Fortsetzung

Untersuchungs- baum Nr.	Gesundheits- zustand	Ermittelte Höhe	Bohrspan- tüte Nr.	Besondere Merkmale nach 1. Terrestrischer Unter- suchung im Dez. 74	Besondere Merkmale nach 2. Terrestrischer Unter- suchung im Okt. 75
60	Ga	16,00	G60	Guter Zustand der Krone	
61	Ga	14,50	G61	Guter Zustand der Krone	
62	Ga	16,60	G62	Guter Zustand der Krone	
63	Ga	16,50	G63	Guter Zustand der Krone	
25	Tb	14,50	T25	Blaugrau	
69	Ga	17,90	G69	Guter Zustand der Krone	
70	Ga	16,80	G70	Guter Zustand der Krone	
71	Gc	13,50	G71	Kurze Nadeln und lockere Kronen	
27	Tb	11,90	T27	Noch mit den letzten ab- gestorbenen Zweigen ohne Nadeln	
72	Ga	14,60	G72	Guter Zustand der Krone	
73	Ga	14,55	G73	Guter Zustand der Krone	
28	Ta	14,40	T28	Noch mit den letzten zwei- jährigen Nadeln	

Abb. 9: Lebende Kiefer
(Ga*-Krone, geschlossene
Kronenbildung).

* Es gilt nur für dieses
Untersuchungsgebiet

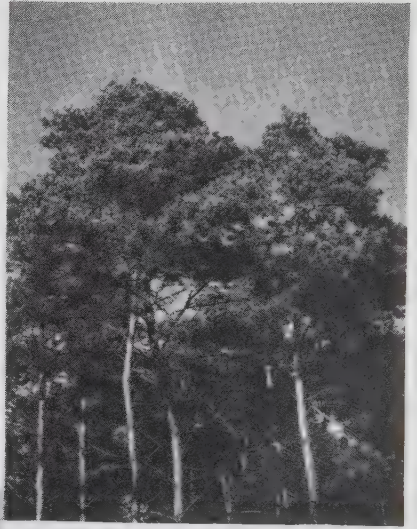


Abb. 10: Lebende Kiefer
(Gb-Krone, verbuschte Kronen-
bildung).

Abb. 11: Lebende Kiefer
(Gc-Krone, lockere
Kronenbildung).





Abb. 12: Frisch abgestorbene Kiefer
(Ta-Krone, lockere Kronenbildung, abgestorbene
Nadeln sind noch vorhanden).

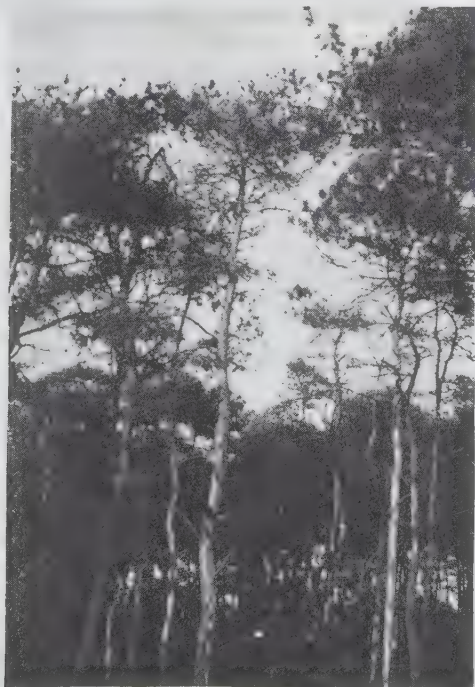


Abb. 13: Frisch abgestorbene Kiefer
(Ta-Krone, verbuschte Kronenbildung, abgestorbene
Nadeln sind noch vorhanden).



Abb. 14: Mehrjährig abgestorbene Kiefer.
(Tb-Krone, lockere Kronenbildung, nur noch abgestorbene Zweige vorhanden).

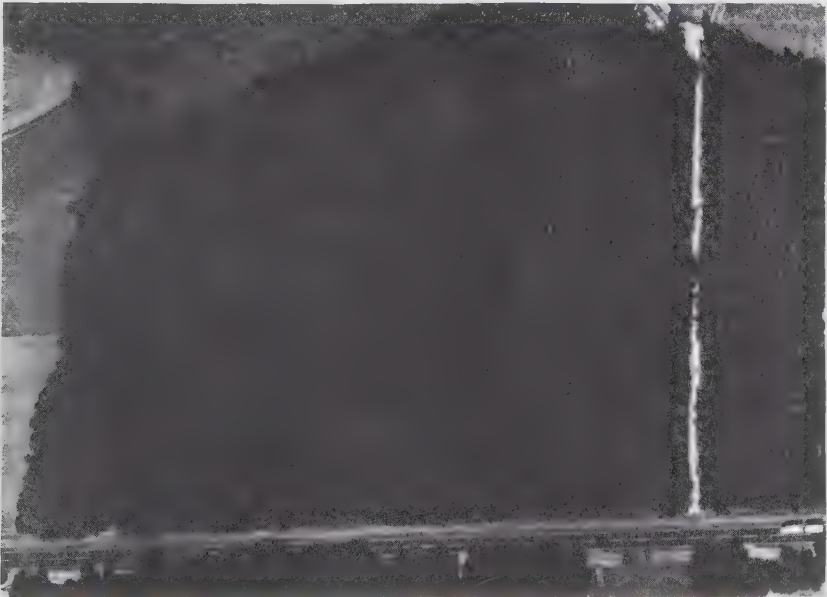


Abb. 15: Mehrjährig abgestorbene Kiefer.
(Tb-Krone, verbuschte Kronenbildung, nur noch abgestorbene Zweige vorhanden).



Abb. 16: (links) Seit längerem abgestorbene Kiefer.
(Tc-Krone, nur noch mit dicken Ästen - skelettiert -).

Abb. 17: (unten) Ausschnitt aus dem Infrarot-Farbluftbild von einem Kiefernbestand. Einzelne und truppweise absterbende und tote Kiefern sind an den blauen und blau-grünen Kronenabbildungen zu erkennen.



Außerdem wurde von jedem Baum in Brusthöhe mit einem Zuwachsbohrer ein langer Bohrspan herausgenommen, so daß die Jahrringe der letzten 30-35 Jahre erfaßt werden konnten. Die gezogenen Späne wurden in einer Papiertüte mit der entsprechenden Nummer aufbewahrt (s. Tabelle 2, Sp. 4), um später die Jahrringbreite zu messen und das Absterbejahr der toten Bäume feststellen zu können (s. Kap. 2.4.2.).

Die verletzte Stelle wurde mit Baumwachs zugestopft, um die Bäume vor Käfer usw. zu schützen.

Zunächst war bei der Bohrspanentnahme im Hinblick auf den Auswertungszweck davon ausgegangen worden, daß die Bohrrichtung unerheblich sei, da es nur darauf ankomme, im Sinne einer Jahrringchronologie die relative Jahrringbreite festzustellen, zu vergleichen und bestimmten Jahren zuordnen zu können. Bei der späteren Auswertung ergeben sich dann jedoch gewisse Schwierigkeiten wegen der z.T. wechselnden Bohrrichtung. Darauf wird in Abschnitt 2.4. näher eingegangen.

Während der terrestrischen Arbeit wurden Abweichungen zwischen dem Ergebnis der Luftbildinterpretation und der Realität festgestellt:

- a) von einigen Bäumen, die auf den Luftbildern als tot angesprochen wurden, waren in Wirklichkeit nur die oberen, im Luftbild sichtbaren Kronenteile abgestorben.
- b) Wenn Zwieselbildungen vorliegen, können Luftbildinterpretationsfehler auftreten. Man interpretiert eine tote Teilkrone auf dem Luftbild als einen toten Baum. Über Zwieselbildung schreibt TANDON 1974: "Bei Verlust des Terminaltriebes (-Knospe) kommt es häufig zur Ausbildung mehrerer miteinander konkurrierender Neubildungen von Spitzen bzw. Kronen, die auf dem Luftbild klar zu erkennen sind." (S. Abb. 18 a,b,c).

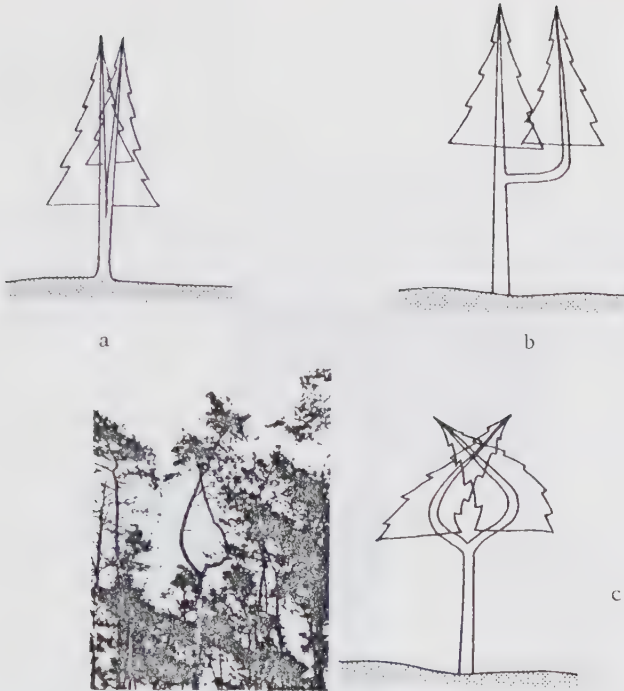


Abb. 18: Zwieselbildungen (aus TANDON 1974)

c) Manche toten Bäume waren in der Zeit zwischen der Luftbildaufnahme und der terrestrischen Kontrolle schon umgefallen.

Nach den terrestrischen Untersuchungen verblieben für die weiteren Untersuchungen folgende Bäume:

Im Untersuchungsbestand I

18 tote Bäume = lfd. Nr. gelb 1-18

47 lebende Bäume = lfd. Nr. grün 1-47

im Untersuchungsbestand II

8 tote Bäume = lfd. Nr. gelb 21-28

26 lebende Bäume = lfd. Nr. grün 48-73

2.4. Die Auswertung der terrestrischen Arbeiten

Die Bohrspäne, die im Gelände von toten und lebenden Kiefern gewonnen worden waren, wurden in der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg Abt. Waldwachstum in Freiburg ¹⁾ mit dem elektronischen Jahrringmeßgerät der Fa. Facit AB. Malmö (Schweden) analysiert.

2.4.1. Arbeitsprinzip des elektronischen Jahrringmeßgerät von ADDO

Das Jahrringmeßgerät besteht aus einem Meßaggregat (s. Abb. 19), einer Addiermaschine mit elektrischer Eingabe und einem kartenprogrammierten ADDO-Streifenlocher.

Die vorbereitete Holzprobe (Bohrspan, Stammscheibe) werden auf dem Objektträger des Wagens bzw. des Meßaggregates befestigt. Der Objektwagen wird mit einem Handrad gesteuert, das über eine lichtempfindliche Zelle einen Motor für die Bewegung des Wagens schaltet. Durch Drehen im Uhrzeigersinn wird der Wagen vorwärts gefahren, gegen den Uhrzeigersinn rückwärts. Die vom Impulsgeber durch Drehung des Handrades bzw. der Leitspindel erzeugten Impulse werden über eine spezielle Rechenlogik in Informationsdaten über das Ausmaß der einzelnen Jahrringe umgesetzt und gleichzeitig im Zählergehäuse, welches Ziffernglimmröhren für Einer-, Zehner- und Hunderterstellen enthält optisch numerisch dargestellt. Dadurch kann die laufende Kontrolle der Meßarbeiten erfolgen. Über einen Kippschalter wird die Abtastung des Jahrringes und die Eingabe des Meßergebnisses in die Addiermaschine und gegebenenfalls auch in den Streifenlocher ausgelöst. In der oberen Schalterstellung wird das elektronische Registergerät samt den Ziffernröhren gelöscht.

1) Dafür danke ich auch an dieser Stelle Herrn Dr. Prange und seinen Mitarbeitern für ihre freundliche Hilfe und Beratung.

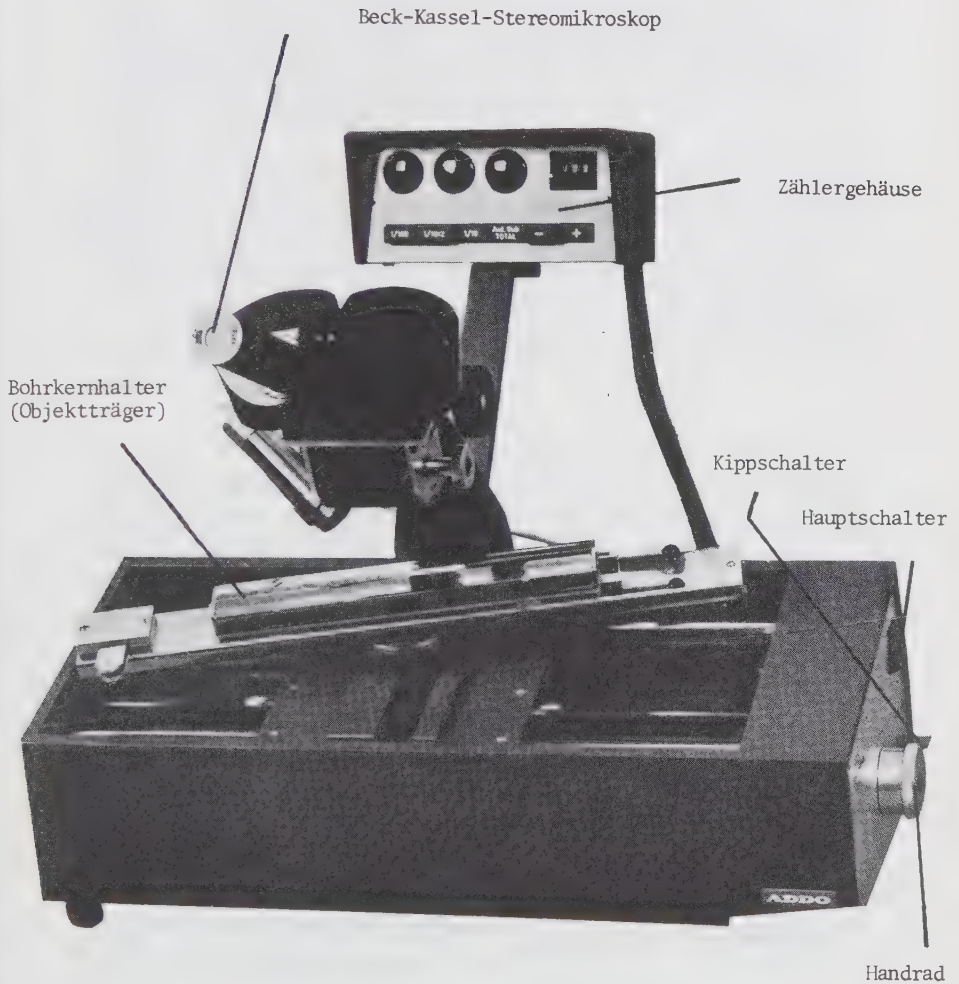


Abb. 19: Meßaggregat des Jahrringmeßgerätes von ADDO (Aus Prospekt der Fa. FACIT AB., Schweden).

Unter einem Beck-Kassel-Stereomikroskop, das mit 20- und 40-facher Vergrößerung und einem Okular mit einem Fadenkreuz versehen ist, bewegt sich der Bohrkernhalter (Objektträger). Im Gegensatz zum früheren Eklund'schen Bohrspänauswertegerät kann der Objektträger nicht nur linear geführt werden, er ist bei Bedarf auch um seinen Drehpunkt unter der optischen Achse des Mikroskops drehbar. Die Berichtigung der Lage des Bohrkernhalters wird notwendig, wenn die Jahrringe schräg abgeschnitten sind, jedoch die wirkliche Jahrringbreite b (vgl. Abb. 20) gemessen werden soll. Der Bohrkernhalter wird dazu mit einem einfachen Handgriff gelöst und in die gewünschte Lage gebracht. Da der Drehpunkt auf der optischen Achse des Mikroskops liegt, besteht keine Gefahr, daß das Objekt aus dem Gesichtsfeld verschwindet.

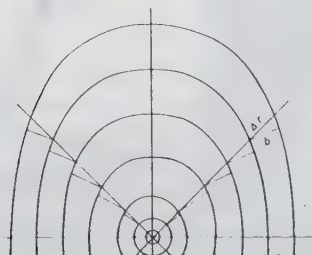


Abb. 20: Unterschied zwischen Jahrringbreiten und Radialzuwachs
(Aus ABETZ 1960).

(b = Jahrringbreite

(Δr) = Radialzuwachs

Man kann bei den Messungen prinzipiell drei Meßbreiten auswählen:
1/100 mm, 1/10 mm und 1/10x2 mm. (Aus der Bedienungsanleitung zum
Jahrringmeßgerät ADDO Modell 2, Schweden).

2.4.2. Messung der Bohrspäne und die Ergebnisse

Die von allen Probestämmen gezogenen Bohrspäne erfaßten die letzten 30-35 Jahrringe. Sie wurden von der Rinde aus gemessen. Von den drei Meßbereichen wurde der mit 1/10 mm gewählt. Die Registrierung erfolgte auf dem Rechenstreifen der Addiermaschine.

Angeichts der in Kapitel 1.1. beschriebenen Fragestellung war die Auswertung der Bohrspanmessung einerseits notwendig, um für die toten Bäume das Jahr des Absterbens ¹⁾ festzustellen, und andererseits, um jene Bäume kennenzulernen, die im Laufe der vergangenen Jahre Jahrringausfälle hatten. Bei letzteren wird zunächst als Hypothese angenommen, daß es sich dabei um geschwächte - in unserem Fall um stärker rauchgeschädigte Individuen handelt.

Die Auswertung der Bohrspäne erfolgte dementsprechend zunächst durch graphische Darstellung der Meßergebnisse aller, d.h. aller lebenden und toten Bäume. Auf Millimeterpapier wurden die jeweiligen Meßergebnisse jedes Baumes als "Jahrringkurve" dargestellt. Die Kurven der toten Bäume wurden sodann zunächst zur Seite gelegt und eine Synchronisierung der Jahrringkurve aller noch lebenden Untersuchungsbäume im Bezug auf die zeitliche Entstehung der Jahrringe untersucht. Die Auswertung erfolgte dabei stets getrennt für die Bäume aus den beiden standörtlich unterschiedlichen Untersuchungsgebieten.

Was schon in früherer Literatur (HARTIG 1869, BÖLMELE 1907, RUBNER 1910, FLURY 1926 über Unregelmäßigkeiten und Störungen in der Jahrringbildung behauptet worden ist, wird in neuerer Literatur (VINS 1961a, 1961b, LUX 1965, VINS 1966, 1968) als Fehlen von Jahrringen an der Rinde und im Stamminnern (s. Abb. 21a u. b) festgestellt und auch durch die vorliegende Untersuchung bestätigt.

1) Als "abgestorben" wurden die Kiefern dann angesprochen, wenn kein Jahrringzuwachs mehr erfolgte.

Beispiel einer graphischen Synchronisierung der Jahrringkurven mit Störungen in der Jahrringbildung infolge der Rauchbeschädigung

A = Mittlere Jahrringkurve von 203 Bäumen (406 Einzelkurven) als Vergleichsbestand

B = Jahrringkurve aus dem Probebaum Nr. 230 ohne Störung in der Jahrringbildung

C = Jahrringkurve aus dem Probebaum Nr. 231 mit 3 fehlenden Jahrringen an der Rinde (Periode 1959-61).

D = Jahrringkurve aus dem Probebaum Nr. 232 mit 8 fehlenden Jahrringen an der Rinde (Periode 1954-61)

(Eine Dünnungsversuchsfläche im Rauchschadengebiet des Erzgebirges; Zuwachsbohrung im Herbst 1961).

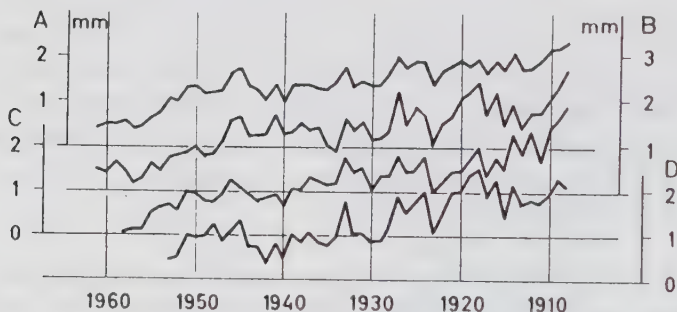


Abb. 21a: Fehlende Jahrringe an der Rinde (einschließlich dem Text aus VINS 1966)

Beispiel einer graphischen Synchronisation der Jahrringkurven mit einer Zuwachsherabsetzung in der Periode 1922-24 (infolge der Nonnenkalamität)

A = Mittlere Jahrringkurve von 20 Bohrspänen aus 10 Mittelstämmen

B = Jahrringkurve aus dem Probebaum Nr. 1 ohne Störungen in der Jahrringbildung

C = Jahrringkurve aus dem Probebaum Nr. 2 mit 2 fehlenden Jahrringen in der Periode der Zuwachsherabsetzung 1923-24

(Eine Versuchsfläche im Rauchschadengebiet von Mittelböhmen, Zuwachsbohrung im Herbst 1963).

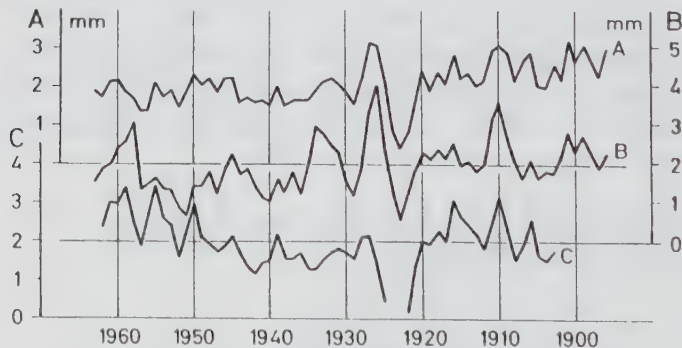


Abb. 21b: Fehlende Jahrringe im Stamminnern (einschließlich dem Text aus VINS 1966)

Wie von verschiedenen Autoren (VINS 1966, 1972, MITSCHERLICH 1975) beschrieben wird, tritt das Ausfallen von Jahrringen vor allem im unteren Stammteil auf, "wenn der Baum im Wachstum behindert wurde, was nach Insektenschäden oder unter dem Einfluß von Rauchschäden (SO_2 , HF usw.) der Fall sein kann. Auch beim Absterben eines Baumes, das sich oft über Jahre hinziehen kann, setzen im unteren Schaftteil die Jahrringe zuerst aus," MITSCHERLICH 1975.

In der Literatur wird ferner auch darauf hingewiesen, daß das Ausfallen der Jahrringe in Abhängigkeit von der soziologischen Baumklasse (Kronenzustand) unterschiedlich oft auftritt. VINS (1966) stellte fest: von 1000 Bohrspänen, die aus einer Versuchsfläche im Böhmischem Rauchschadengebiet (CSSR) und zwar aus einem 68 Jahre alten Fichtenreinbestand kommen, wurde "das Auftreten fehlender Jahrringe in Abhängigkeit von der zönotischen Stellung des Baumes im Bestand" ermittelt. "In den beiden Baumklassen der beherrschten und absterbenden Bäume fehlt meist ein großer Teil der Jahrringe; in den Kategorien der vorherrschenden und herrschenden Bäume wurde diese Störung in keinem Fall festgestellt. Es ist ersichtlich, daß infolge der Bestandsstruktur das Wachstum der unterdrückten Baumklassen so weit eingeschränkt ist, daß in der Brusthöhe schon keine Jahrringe mehr gebildet werden, obwohl der Baum lebt und eine grüne Krone hat." (S. Tab. 4).

Anzahl der aussetzenden Jahrringe bei der Rinde	Prozent der Bäume mit aussetzenden Jahrringen von 100% der entsprechenden Baumklasse				
	vorherrschend	herrschend	mit-herrschend	beherrscht	unterständig
1 - 5	-	-	3	13	36
5 - 10	-	-	-	9	26
11 - 15	-	-	-	2	10
16 - 20	-	-	-	-	1
Total	-	-	3	24	73

Tab. 4: Aussetzen der Jahrringe bei Bäumen verschiedener Baumklassen im gleichaltrigen Fichtenbestand (aus VINS 1966).

Die Bemühungen um eine Synchronisierung der Jahrringkurven führten zu einem für den vorgesehenen Zweck befriedigendem Ergebnis. Es traten zwar Abstimmungsdifferenzen in einer Reihe von Einzelfällen auf, doch konnten diese das Gesamtergebnis nicht ernstlich in Frage stellen. Für die Bildung einer mittleren Jahrringkurve wurden schließlich für den Untersuchungsbestand I 21 Bäume und für den Untersuchungsbestand II 14 Bäume herangezogen, bei denen besonders hohe Übereinstimmung der Einzelkurven vorlag und das Risiko ausgefallener Jahrringe extrem gering war. Abbildung 22 zeigt die beiden mittleren Jahrringkurven für die Untersuchungsbestände I und II. Tabelle 5 gibt die dazugehörenden mittleren Meßwerte an.

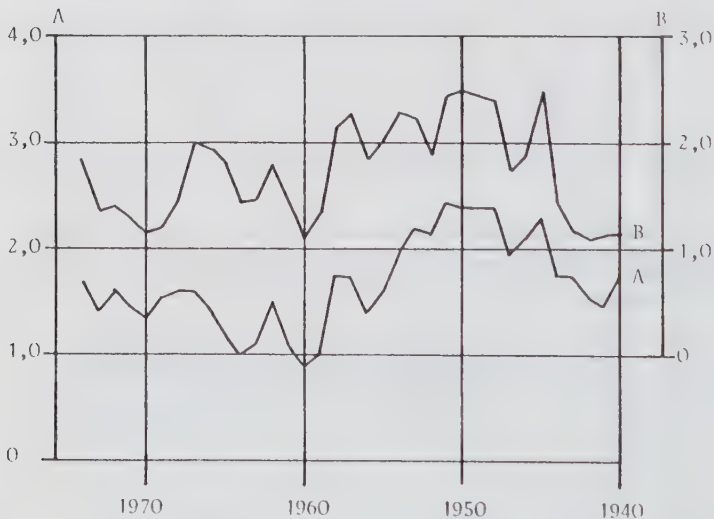


Abb. 22: Die mittleren Jahrringkurven vom Untersuchungsbestand I und II .

- A Mittlere Jahrringkurve von 21 Bäumen
(Kronenzustand Ga) im Untersuchungsbestand I
- B Mittlere Jahrringkurve von 16 Bäumen
(Kronenzustand Ga) im Untersuchungsbestand II

Tab. 5: Die mittleren Meßwerte der Jahrringbreiten in mm.

UB I	1974	1973	1972	1971	1970	1969	1968	1967	1966	1965	1964	1963	1962	1961	1960	1959	1958	1957	1956	1955	1954	1953	1952	1951	1950
	1,70	1,40	1,60	1,45	1,35	1,55	1,60	1,60	1,45	1,20	1,00	1,10	1,50	1,10	0,9	1,00	1,75	1,75	1,40	1,60	2,00	2,20	2,15	2,45	2,40
	1949	1948	1947	1946	1945	1944	1943	1942	1941	1940															
	2,40	2,40	1,95	2,10	2,30	1,75	1,75	1,55	1,45	1,75															
UB II	1974	1973	1972	1971	1970	1969	1968	1967	1966	1965	1964	1963	1962	1961	1960	1959	1958	1957	1956	1955	1954	1953	1952	1951	1950
	1,80	1,35	1,40	1,30	1,15	1,20	1,45	2,00	1,95	1,80	1,45	1,45	1,80	1,45	1,10	1,35	2,15	2,30	1,85	2,05	2,30	2,25	1,90	2,45	2,50
	1949	1948	1947	1946	1945	1944	1943	1942	1941	1940															
	2,45	2,40	1,75	1,90	2,50	1,70	1,20	1,10	1,15	1,15															

Diese mittleren Kurven bzw. Mittelwerte dienen folgenden drei Zwecken:

- 1) Synchronisierung der graphischen Darstellungen der mittleren Jahrringkurven mit den Einzeljahrringkurven der toten Bäume, um das Absterbejahr möglichst zuverlässig festzustellen.
- 2) Synchronisierung der graphischen Darstellungen der mittleren Jahrringkurven mit Einzeljahrringkurven der lebenden Bäume, um bei ihnen die vermutliche Anzahl fehlender Jahrringe festzustellen.
- 3) Vergleich der Durchmesserzuwachsleistung in den Untersuchungsbeständen und Untersuchung von Beziehungen zwischen dieser Leistung und anderen teils im Bestand teils im Luftbild ermittelten Bestandesparametern (s. Kap. 1.4.).

Um die Jahrringkurven der einzelnen lebenden und toten Bäume, die entweder wegen Veränderung des Gesundheitszustandes oder ihres Absterbens unregelmäßige von der Durchschnittsentwicklung abweichende Jahrringbreiten aufweisen, mit den mittleren Jahrringkurven synchronisieren zu können, mußte man einige verlässliche Einpaßpunkte suchen. Als solche kommen extrem breite oder enge Jahrringe in Frage.

Um diese extremen Einpaßpunkte zu finden, ist das Verhältnis zwischen Jahrringbreite und Witterung zu suchen.

Es ist seit langem bekannt und wiederholt nachgewiesen worden (SCHWAPACH 1904, KERN und MOLL 1960, LUX 1965, MITSCHERLICH 1975, WACHTER 1977), daß unter extremen Klimabedingungen, unbeschadet standörtlich unterschiedlicher Reaktionen, i.d.R. auch extreme Jahrringbreiten auftreten. Einige Belege aus der Literatur mögen dies nochmals verdeutlichen.

Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang eine Untersuchung von LUX 1965, welche den Einfluß sowohl extremer Winter als auch jenen von Dürrejahre auf den Durchmesserzuwachs in einem emissionsgeschädigten Kieferngebiet zeigt. Wie in unserem Untersuchungsgebiet gehen dabei Einflüsse der Klimaschwankungen und zeitlich unterschiedliche Emission Hand in Hand.

Im einzelnen fand LUX 1965 deutlich Zuwachsrückgänge nach den extremen Wintern von 1941 und 1956, wobei eine merkbare Abhängigkeit der Erholungsphase bei den einzelnen Bäumen von deren Entfernung von den Emissionsquellen zu beobachten war. Bezüglich der Nachwirkung des Dürrejahres 1959 schreibt LUX 1965 dann: "Besonders bemerkenswert ist die Reaktion auf das Dürrejahr 1959. Sämtliche Bestände zeigen erst 1960 einen Zuwachsrückgang, der wieder im Hauptschadengebiet am stärksten war. Im feuchten Jahr 1961 konnten sich nur die Bäume der 4. Zone ¹⁾ gut, die Plusbäume der 2. Zone ein wenig erholen. Das kühltrockene Jahr 1962 brachte jedoch in allen Zonen einen weiteren Zuwachsrückgang mit sich."

Gerade der Einfluß des Trockenjahres 1959 auf die Jahrringbildung wurde in Mitteleuropa auch von anderen Autoren untersucht. So stellen KERN und MOLL 1960 von Baumart und Standort her gesehen extrem andere Bedingungen aber gleiche Reaktionen wie LUX 1965 fest.

Sie führen nach einer Untersuchung über das Dickenwachstum von Fichten auf verschiedenen südwestdeutschen Standorten im Trockenjahr 1959 das deutlich herabgesetzte Dickenwachstum darauf zurück, daß, "die Dauer der Jahrringbildung..... 1959 - wohl als Folge der Trockenheit - merklich kürzer als im Vorjahr" war.

Schließlich sei auch auf die Untersuchungen von SCHÜBER 1951 hingewiesen; hier ergaben sich für die Jahrringbreiten in den beiden

1) Der Untersuchungsraum wurde nach "Zonen" in Abhängigkeit von der Entfernung zur Emissionsquelle eingeteilt
 1. Zone ist näher gelegen
 4. Zone ist entfernt gelegen

Dürrejahren 1947 und 1949 gegenüber dem besonders feuchten Jahr 1946 durchweg deutlich geringere Jahrringbreiten.

EKLUND (1944, 1957) stellte nach Untersuchungen in Schweden eine für Kiefernbestände sehr enge Korrelation zwischen der Jahrringbreite und der Zahl der Tage über 16°C fest.

MITSCHERLICH (1975) widmet in seinem Lehrbuch "Wald, Wachstum und Umwelt" Bd. III einen eigenen Abschnitt den Zusammenhängen zwischen der Jahrringbreite und der Witterung (s. MITSCHERLICH 1975, Seite 223ff.). Auf diese zusammenfassenden Ausführungen wird hier besonders verwiesen und Bezug genommen. Im Bezug auf die o.a. Arbeit von EKLUND weist er darauf hin, daß dieser enge Zusammenhang zwischen dem Zuwachs und der Julitemperatur wahrscheinlich dazu führt, daß bei der Kiefer, "Die Frühholzzone von Jahr zu Jahr nur wenig schwankt, die Spätholzzone aber stark variiert."

Die Zusammenhänge zwischen Witterungsverlauf und Jahrringbildung sind selbstverständlich komplexerer Natur. Modifizierend auf die Stärke der Zuwachsbeeinflussung und die Dauer der Erholungsphase wirken dabei ohne Zweifel verschiedene standörtliche Faktoren, insbesondere Bodenart, Höhenlage und Mikrorelief. Auch der modifizierende Einfluß unterschiedlicher Belastung durch Immissionen ist offensichtlich (vergl. LUX 1965).

Unter Berücksichtigung aller solcher Modifikationen kann man aber doch grundsätzlich MITSCHERLICH (1975) folgen, wenn er schreibt: "In Trockengebieten ist es natürlich die Wasserversorgung, die die Breite der Jahrringe bestimmt. Die Beziehungen zwischen Niederschlag und Jahrringbreite sind in diesen Gegenden oft so straff, daß man es wagen kann, aus den Ringbreiten auf die Klimaänderung der letzten Jahrhunderte zu schließen. (...)" In Mitteleuropa sind es Wärme und Niederschlag, die die Breite der Jahrringe prägen, wobei es nicht nur auf das Mittel oder die Summe in der Vegetationszeit ankommt, sondern

auch in welcher Phase des jährlichen Wachstumsablaufs ein Mangel an Wärme oder Niederschlag in Erscheinung tritt."

Vor dem Hintergrund dieser allgemeinen Erkenntnisse können die eigenen Beobachtungen diskutiert werden. Prinzipiell zeigen sich die gleichen Zusammenhänge zwischen Witterungsverlauf und dem Dickenwachstum (vgl. Abb. 23a u. b).

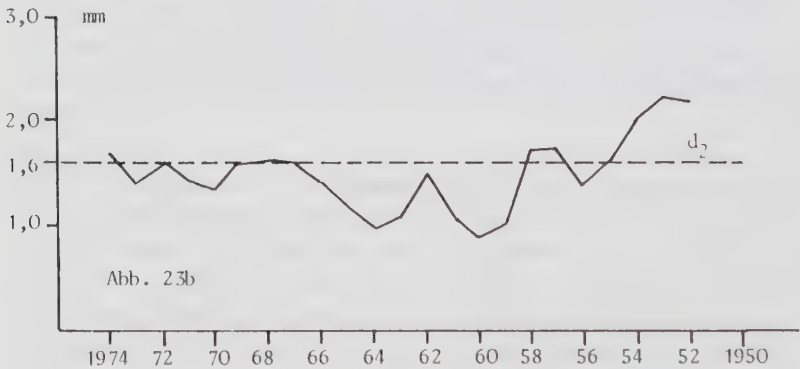
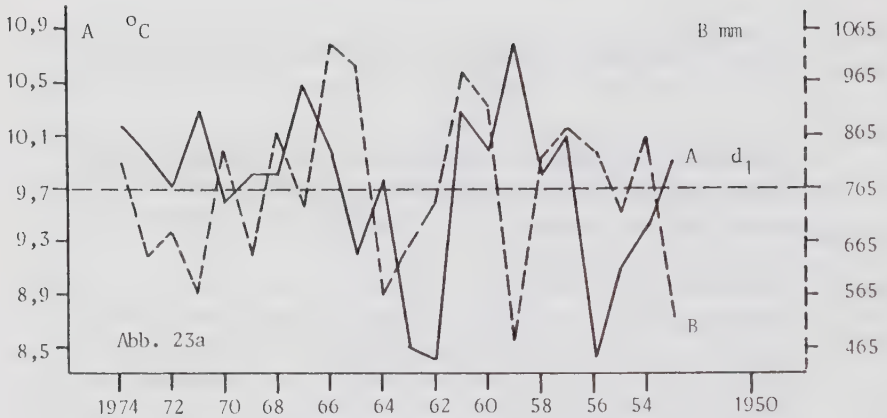


Abb. 23a: Graphische Darstellung jährlicher Durchschnittswerte von Temperatur und Niederschlag vom Untersuchungsgebiet. Diese Werte wurden von Daten der Wetterstation Boholt hinzugezogen.
 A.... jährliche Durchschnittswerte der Temperatur $^{\circ}\text{C}$
 B.... jährliche Durchschnittswerte der Niederschläge in mm
 d1... langjähriger Mittelwert von Temperatur und Niederschlag in der Periode 1953-1974

Abb. 23b: Mittlere Jahrringkurve von 21 lebenden Bäumen vom Untersuchungsbestand I
 d2... mittlere Jahrringbreite 1940-1974 in mm.

Wenn man die Abbildungen betrachtet, kommt man zu folgenden Ergebnissen:

- a) In den Jahren 1956, 1963, 1964, 1970 treten enge Jahrringe nach extrem kalten Wintermonaten auf. Dies entspricht der von LUX (1965) beschriebenen Beobachtung, wonach die Kiefern der Dübener Heide nach den extremen Wintern 1941 und 1946 deutlich geringen Zuwachs zeigen. Es wird angenommen, daß nach mitteleuropäischen Verhältnissen die Monate von Dezember bis Mai als Wintermonate gelten (s. Tab. 6).

Tab. 6:

Wintermonate	Durchschnittliche Monats- temperatur Periode 1953-1974	Durchschnittliche Monatstemperaturen der Jahre mit extremen Wintern in °C			
		1955/56	1962/63	1963/64	1969/70
Dezember	3,2	4,4	-0,6	-0,9	-1,6
Januar	1,8	1,9	-5,3	0,3	1,0
Februar	2,4	-6,4	-2,8	3,9	1,1
März	5,2	5,7	5,1	3,3	3,1
April	8,8	5,9	9,8	9,7	6,4
Summe	21,4°C	11,5°C	6,2°C	16,3°C	10,0°C

- b) Ein Grund für die enge Jahrringbildung von 1959 ist die extreme Dürre dieses Jahres. Es ist das Jahr mit dem - zwischen 1953 und 1974 - geringsten Jahresniederschlag und den höchsten Jahrestemperaturen (s. Tab. 1). Offensichtlich wirkten die Folgen der Trockenheit im nächsten Jahr (1960) noch voll nach. Die Erholung der ohnehin durch geringe Standorte nur mäßig wüchsigen Kiefern hatte nach dem extremen Vorjahr noch nicht eingesetzt. Die gleiche Beobachtung machte LUX (1965) an den von ihm untersuchten auch unter Immissionsstreß stehenden Kiefern der Dübener Heide, also an einem Untersuchungsmaterial, welches dem hier vorliegenden in wesentlichen Punkten ähnelt. Auf die bereits zitierte Stelle bei

LUX wird nochmals verwiesen (s. Seite 47). Es wird in diesem Zusammenhang auch auf die Beobachtung von WEIHE (1958), erinnert, der die Abhängigkeit der Erholung des Zuwachses nach Trockenjahren von standörtlichen Faktoren in badischen Fichtenbeständen nachwies.

- c) Ursachen für die maximalen Werte in den Jahren 1957, 1958, 1962, 1966, 1967, 1968, 1972, 1974 sind offensichtlich die optimalen Frühjahrsbedingungen dieser Jahre hinsichtlich Temperatur und Niederschlag.

Die als klimatisch extrem erkannten Jahre mit den dazu korrespondierenden besonders geringen oder hohen Jahrringbreiten könnten nun als Einpaßpunkte herangezogen werden, um alle Jahrringkurven von lebenden und abgestorbenen Bäumen mit der mittleren Jahrringkurve graphisch zu synchronisieren. Für diese Synchrinisation wurde durch sorgfältiges Verschieben der einzelnen Jahrringkurven gegenüber der Durchschnittskurve anhand der Einpaßpunkte die bestmögliche Anpassung gesucht und gefunden.

E r g e b n i s s e :

- a) Die Jahrringkurven, die zu den toten Bäumen gehören (Tab. 7 und Abb. 24) wurden auf die beschriebene Weise über die mittlere Jahrringkurve des betreffenden Untersuchungsgebietes synchronisiert, um das Absterbejahr möglichst genau festzustellen. Die Anpassung ließ sich gut erreichen. Offen bleibt jedoch die Frage, ob im Einzelfälle noch während der Lebenszeit der als abgestorben geltenden Bäume Jahrringe ausgefallen sind. Die gute Anpassung läßt dies zwar nicht vermuten, doch ist es auch nicht völlig auszuschließen.

Untersuchungs- bestand	Absterbe- jahr	Die toten Bäume mit ihrer Untersuchungs- nummer nach entsprechendem Kronenzustand		
		Ta	Tb	Tc
I	1974	6,17,18		
	1973			
	1972		1,8,11,12	
	1971	3,4	7,14	
	1970		2,9	5
	1969		16	
	1968		15	10
	1967			13
	1966			
II	1974	28		
	1973			
	1972	26		21
	1971			22
	1970		25,27	
	1969		23	
	1968		24	
	1967			

Tab. 7: Durch Bohrspanmessungen ermittelte Absterbejahre

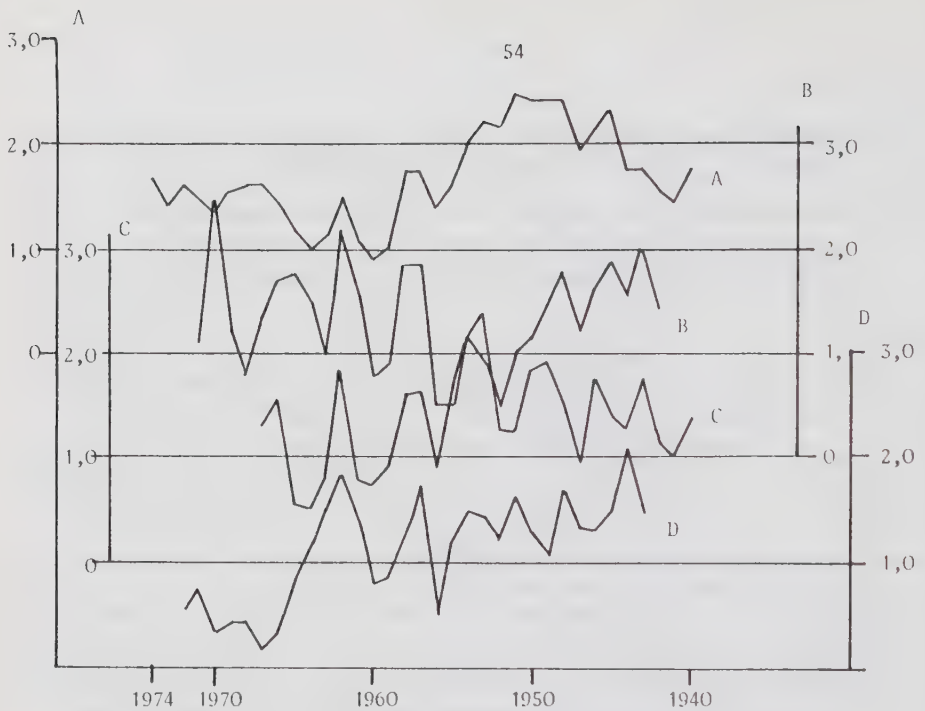


Abb. 24: Beispiel einer graphischen Synchronisierung der Jahrringkurve mit den fehlenden Jahrringen infolge des Absterbens.

A... Mittlere Jahrringkurve von 21 Bäumen (Kronenzustand Ga) als Vergleichsstandard.

B... Jahrringkurve des abgestorbenen Baumes T_3 , Absterbejahr wird für 1971 festgestellt.

C... Jahrringkurve des abgestorbenen Baumes T_{13} , Absterbejahr wird für 1967 festgestellt.

D... Jahrringkurve des abgestorbenen Baumes T_8 , Absterbejahr wird für 1972 festgestellt.

Überraschend ist auf den ersten Blick, daß einige der im Bestand noch stehenden toten Bäume nach dem Ergebnis dieser Untersuchung schon vor mehreren Jahren, im extremen Fall vor 8 Jahren, keinen Zuwachs mehr in Brusthöhe aufwiesen und deshalb hier als seit dem "tot" ausgewiesen sind. An zwei Faktoren wird in diesem Zusammenhang erinnert: an die auf Seite mitgeteilte Beobachtung von VINS (1966), wonach bei unterdrückten Bestandsgliedern der Durchmesserzuwachs in Brusthöhe oft schon aufgehört hat auch wenn die Krone noch grün war und auf den Umstand, daß es sich bei den Untersuchungsbeständen um relativ schlecht gepflegte Bauernwälder handelt, in welchen des Aushieb toter Bäume oft nur in größeren zeitlichen Abständen erfolgt.

- b) Feststellung der fehlenden Jahrringe bei den lebenden Bäumen und Vergleich der Durchmesserzuwachsleistung in den Beständen.

Die im Untersuchungsbestand I 47 lebenden Kiefern bzw. die im Untersuchungsbestand II 26 lebenden Kiefern wurden mit der mittleren Jahrringkurve synchronisiert (s. Tab. 8).

	Anzahl der aussetzenden Jahrringe b.d. Rinde	Anzahl der Bäume mit aussetzenden Jahrringen nach entsprechendem Kronenzustand im gleichaltrigen Kiefernbestand		
		Ga	Gb	Gc
Untersuchungsbestand I	1-3	1	2	4
	4-6	1	-	2
	7 >	-	-	1
	Summe	2	2	7
Untersuchungsbestand II	1-3	1	-	1
	4-6	-	-	-
	7 >	-	-	-
	Summe	1	-	1

Tab. 8: Aussetzen der Jahrringe bei Bäumen mit verschiedenem Kronenzustand im gleichaltrigen Kiefernbestand.

Tab. 8 zeigt das Ergebnis der Auswertung bezüglich der in Höhe der Meßstelle (Bhd) offensichtlich fehlenden Jahrringe. Das in Tab. 8 aufgezeigte Ergebnis ist dem in Tab. 4 (s. S. 43) aus Untersuchungen von VINS (1966) hervorgegangen vergleichbar.

Zwei Dinge fallen auf: Die Ausfälle an Jahrringe sind - zumindest im Untersuchungsbestand I - bei Bäumen mit schlechtem Kronenzustand (Gc, vgl. hierzu S. 25) häufiger als bei jenen mit gutem Kronenzustand. Dies ist ein analoges Ergebnis zu dem von VINS gefundenen (vgl. Tab. 4, S. 43). Im Untersuchungsbestand II läßt sich gleiches jedoch nicht beobachten. Offensichtlich sind hier die allgemeinen Wachstumsbedingungen so, daß Jahrringe auch in von der Witterung her extremen Jahren nicht bzw. nur sehr selten ausfallen.

Das zweite, bemerkenswerte Ergebnis ist in dem Umstand zu sehen, daß in dem der Emmissionsquelle nähergelegenen Untersuchungsbestand II (vgl. Abb. 8) deutlich weniger Jahrringausfälle festgestellt wurden. Dieser Bestand ist insgesamt zuwachsfreudiger und bezüglich der Kronenausbildung und der Benadelung in erheblich besserem Zustand.

So weisen die Bäume mit Kronenzustand Ga im Untersuchungsbestand I 1940/74 eine mittlere Jahrringbreite von 1,46 mm auf, die im Untersuchungsbestand II dagegen 1,68 mm. Die mittleren Bestandeshöhen betragen im Bestand I 14,96 m und im Bestand II 16,23 m. Der Kronenzustand ist im Untersuchungsbestand I durch einen hohen Anteil an Gc-Kronen (48,93%), der im Untersuchungsbestand II durch einen sehr niederen Anteil an Gc-Kronen (7,69%) gekennzeichnet.

Die besseren allgemeinen Wuchsverhältnisse überwiegen dem Einfluß der hier offensichtlich nicht extremen Immissionsbelastung. Hierauf wird auch an späteren Stellen noch hingewiesen werden.

2.5. Messungen mit dem Densitometer

2.5.1. Das Densitometer

Die Messungen wurden mit einem Transmissions-Farbdensitometer der Marke MACBETH TD-102 durchgeführt (Abb. 25 und 126), das von der Deutschen Forschungsgesellschaft zur Verfügung gestellt wurde und auch bei früheren Untersuchungen der Abteilung Luftbildmessung und -interpretation der Universität Freiburg bereits erfolgreich verwendet wurde. (TZSCHUPKE 1974, SCHADE 1976, RÖHDE 1977).

Mit diesem Gerät können die photographische Dichte (D) und der Lichtdurchlässigkeitsgrad % T (Anm; $D = \log \frac{100}{T}$ einer Filmvorlage) als Maß für die allgemeine (schwarz-weiß) Helligkeit, sowie durch Vorschalten der entsprechenden Farbsaugfilter für die Helligkeiten in den Farbbereichen Rot, Grün, Blau gemessen werden.

TZSCHUPKE 1973 a".

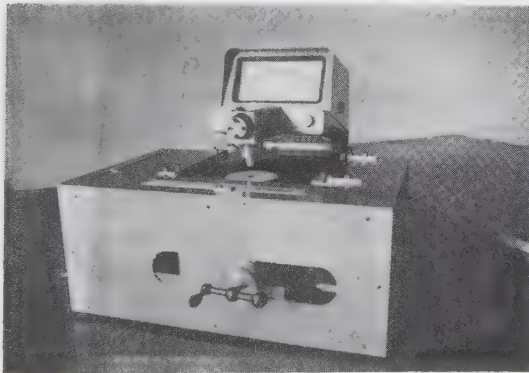
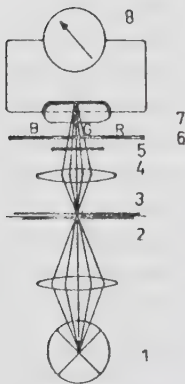


Abb. 25 a: Das Farbdensitometer MACBETH TD-102.



Der Aufbau und die Funktionsweise des Densitometers sind in Abb. 26 schematisch dargestellt: Das Licht (1) wird von unten durch die Meßblende (2), durch das Meßobjekt (3) und schließlich durch die Optik des Meßkopfes (4) sowie durch ein Kompensationsfilter (5), das die spektrale Empfindlichkeit des Photomultipliers über den gesamten sichtbaren Spektralbereich hinweg gleichmäßig neutralisiert und eventuell durch eines der Farbfilter (6) auf den Photomultiplier (7) geleitet. Über eine Photomultiplier-Dynoden-Regelschaltung wird die gemessene Dichte bzw. die gemessene Transmission direkt auf der Meßskala (8) angezeigt. (Kodak Gerätebeschreibung T-5662-1169-M).

Abb. 26: Funktionsprinzip des Macbeth Farbdensitometers TD-102.

In das Gerät sind folgende Farbfilter eingebaut:

- Rot-Filter Kodak Watten Nr. 92 (620-700 m μ)
- Grün-Filter Kodak Watten Nr. 93 (510-585 m μ) und
- Blau-Filter Kodak Watten Nr. 94 (420-490 m μ).

Der Meßbereich des Densitometers geht von 0,00 D-4,00 D bzw. 100,00 - 0,01 T%, wobei vom Hersteller eine Meßgenauigkeit von $\pm 0,02$ D angegeben wird.

Für die Messungen stehen kreisförmige Meßblenden von 0,5, 0,6, 0,75, 1,0, 2,0 und 3,0 mm zur Verfügung. In dieser Arbeit wurden alle densitometrischen Messungen mit der Blende von 0,5 mm vorgenommen, da folgende Gründe für die Wahl dieser Blende sprechen:

1. Die bereits im Kap. 2.2. erwähnten Abbildungen der Baumkronen auf den Luftbildern sind nicht groß, und
2. die ausgewählten lebenden und toten Baumkronenabbildungen müssen in der größtmöglichen Sicherheitsquote gemessen werden.

Es ist aus der Literatur bekannt (KILCIENMANN 1965, SCHÖDLER 1973, TZSCHUPKE 1973 a, 1974, SCHNEIDER 1975, ROHDE 1977), daß die Durchlaßprozent T_R , T_G und T_B der gemessenen Lichtdurchlässigkeitswerte beim Densitometer nicht identisch sind mit den C I E - F a r b w e r t e n; diese entsprechen den Normalspektralwerten X , Y , Z .

Der gleiche Zusammenhang besteht zwischen den Normfarbanteilen x, y, z und den speziellen Farbanteilen r, g, b . Man berechnet die speziellen Farbanteile mit der Formel:

$$r = \frac{T_R}{T_R + T_G + T_B} ; \quad g = \frac{T_G}{T_R + T_G + T_B} ; \quad b = \frac{T_B}{T_R + T_G + T_B}$$

Die Summe von $r+g+b$ ergibt 1.

Bei allen Untersuchungen zu dieser Arbeit soll nicht der Unterschied zwischen den Farbanteilen r, g, b und den CIE-Normfarbanteilen x, y, z behandelt werden, sondern es geht um die Frage, ob eine Trennung unter gleichen Bedingungen zwischen den toten und lebenden Kiefern in ihren Farbanteilen r, g, b möglich ist, damit das "Absterbe-Jahr" bei den abgestorbenen Kiefern festgestellt werden kann.

2.5.2. Meßmethode

Gegenstand der Untersuchung ist in dieser Arbeit stets die einzelne Baumkrone. Durch die Densitometermessungen mußten die Dichtewerte (D) bzw. die Transmissionswerte (T_W, T_R, T_G, T_B) der Kronenabbildungen im Luftbild von allen lebenden und toten Untersuchungsbäumen gemessen werden.

Als Meßmethode kam dabei nur eine punktweise, manuelle Arbeit mit dem Densitometer in Frage, da die Untersuchungsbäume im Gelände und dem zufolge auch im Luftbild unregelmäßig verteilt vorkommen und z.T. auch sehr weit auseinander liegen. Jede im Luftbild zu messende Krone mußte auf dem Densitometertisch über der Blende von Hand planiert werden.

Es wurde mit Ausnahme der skelettierten Bäume nur solche Bäume in die Messung einbezogen, bei denen die für die Messungen ausgewählte 0,5 mm Blende des Densitometers vollständig oder nahezu vollständig in die Kronenabbildung fiel. Für die Messungen wurde - wie bereits ausgeführt (vgl. S. 58) - die kleinste Meßblende von 0,5 mm ausgewählt, weil die zu untersuchenden Kiefern auf den Luftbildern relativ kleine Kronen und einen schlechten Kronenzustand zeigen.

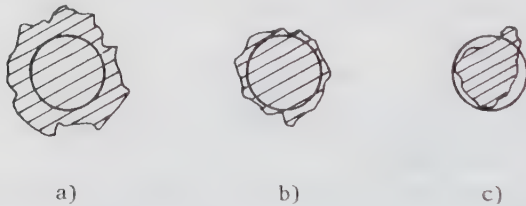


Abb. 27: Auswahl der Untersuchungsbäume für eine bestimmte Blendenöffnung (vgl. hierzu ROHDE 1977, S. 109).

- a) für die Messung geeignete Baumkrone
- b) für die Messung geeignete Baumkrone
- c) für die Messung nicht geeignete Baumkrone

Die für die Messung auszuwählenden Kiefern mußten also im Luftbild einen Kronendurchmesser von mindestens 0,5 mm aufweisen. Die erforderliche Auswahl wurde mit Hilfe des "Luftbildaufzeichnungsplan" (vgl. S. 22) und einer Kreisschablone durchgeführt. Anhand der Kreisschablone konnte festgestellt werden, ob der Durchmesser der einzelnen Kieferkronen auf dem Luftbild kleiner, gleich oder größer als 0,5 mm war (s. Abb. 27).

Bei den gegebenen Maßstabsverhältnissen von "Luftbildaufzeichnungsplan" und Luftbild ergaben sich folgende Größenverhältnisse (s.Tab.9)

Tab. 9:

Untersuchungs- bestand	im Luftbild- aufzeichnungs- plan	Durchmesser der Krone	
		im Luftbild	im Gelände
I	3,40 mm	0,5 mm	2,5 m
II	3,45 mm	0,5 mm	2,5 m

Die beschriebene Auswahl der Untersuchungsbäume wurde vor den terrestrischen Arbeiten getroffen, um bereits für die terrestrischen Untersuchungen nun später auch densitometrisch auswertbare Bäume einzu beziehen.

Von der beschriebenen Auswahl der Untersuchungsbäume wurde - wie bereits o.a. - bei skelettierten Bäumen abgewichen. Auf dem Luftbild, bzw. auf dem "Luftbildaufzeichnungsplan" sind diese i.d.R. seit längerem toten Bäume als Skelette gut erkennbar. Ihr "Kronendurchmesser" ist aber kleiner als 0,5 mm. In den Tabellen sind diese Skelette mit dem Kronenzustand Tc bezeichnet und auch im Anhang IX, sowie im "Luftbildaufzeichnungsplan", zu sehen, z.B. Tc₁₀. Diese skelettierten Bäume wurden mitgemessen, um einer der Hauptfragen dieser Arbeit, nämlich der Feststellung des Absterbejahres nachgehen zu können.

Bei den densitometrischen Messungen der Skelette mußte freilich in Kauf genommen werden, daß außer den Farbanteilen von deren "Kronen" auch benachbarte Äste benachbarter lebender Bäume, z.T. auch durchscheinende Waldbodenvegetation u.a. mitgemessen wurde.

Es zeigte sich im Zuge der Auswertungen, daß sich die dadurch verursachte Mischsignatur in einigen Fällen (vgl. z.B. Tc₁₀, Tc₁₃ in Abb. 7) im Ergebnis als Störelement darstellt.

2.5.3. Messungen

Die ausgewählten Untersuchungsbäume wurden in der Abteilung Luftbildmessung und -interpretation an der Uni Freiburg im Diapositiv der Infrarot-Farb-Luftbilder unter dem MACBETH TD-102 Densitometer mit einer Kreisblende von 0,5 mm gemessen.

Von den Meßobjekten werden simultan die D-Werte Weiß, Rot, Grün, Blau und die Lichtdurchlässigkeiten T_W , T_R , T_G , T_B gemessen. Bei den lebenden Bäumen genügte die einmalige Messung, bei den abgestorbenen Bäumen wurde das Mittel aus dreimaliger Messung hergeleitet. Um die D-Werte auf die Lichtdurchlässigkeitswerte T_W , T_R , T_G , T_B umzurechnen, wurde mit Hilfe eines Taschenrechners folgende Formeln verwendet:

$$D = \log \frac{1}{T} \quad \text{dabei umgekehrt,}$$

$$\%T = X^Y = X^{(\log 2-D)} = 10^{(2-D)}$$

Aus den Lichtdurchlässigkeitswerten werden die Farbanteile r,g,b, errechnet. Diese ermittelten Farbanteile r,g,b der lebenden und der abgestorbenen Bäume reichen aus, die beiden untereinander zu vergleichen und zu differenzieren.

2.6. Die Auswertung der densitometrischen Messungen und Vergleich mit den Ergebnissen der terrestrischen Untersuchungen

Die Ergebnisse der terrestrischen Untersuchungen, die in der Feststellung des tatsächlichen Jahres des Absterbens der toten Bäume mündete und die Ergebnisse der Densitometermessungen wurden in Tabellen und graphischen Abbildungen dargestellt.

Tab. 10: Die Lichtdurchlässigkeitswerte T_W , T_R , T_G , T_B und Farbanteile r , g , b der densitometrisch gemessenen lebenden Bäumen vom Untersuchungsbestand
Bild Nr. 089

Baum Nr.	T_W	T_R	T_G	T_B	$\Sigma R+G+B$	r	g	b	$\chi^2 =$ Rechenmaß
1	Ga 11,35	23,47	5,05	16,1	44,62	0,526	0,113	0,361	- 1,395
2	Ga 11,25	25,01	4,55	15,35	44,91	0,557	0,101	0,342	- 1,291
3	Gc 4,2	8,69	1,91	6,25	16,84	0,516	0,113	0,371	- 1,423
4	Ga 10,7	21,37	4,8	15,3	41,47	0,515	0,116	0,369	- 1,430
5	Ga 10,1	20,9	4,35	14,5	39,75	0,526	0,109	0,365	- 1,390
6	Gc 12,55	27,55	5,15	16,0	48,7	0,566	0,106	0,328	- 1,273
7	Gc 10,05	21,0	4,1	13,35	38,45	0,546	0,107	0,347	- 1,330
8	Gb 9,6	21,4	3,6	12,4	37,4	0,572	0,096	0,332	- 1,242
9	Ga 11,7	25,7	4,9	15,1	45,7	0,562	0,107	0,331	- 1,285
10	Ga 12,8	28,85	5,3	15,15	49,3	0,585	0,108	0,307	- 1,222
11	Gc 12,1	25,7	5,1	16,05	46,85	0,549	0,109	0,342	- 1,325
12	Gc 12,6	28,85	5,3	16,0	50,15	0,575	0,106	0,319	- 1,247
13	Ga 9,05	18,2	3,6	12,15	33,95	0,536	0,106	0,358	- 1,357
14	Gc 10,3	19,95	4,5	14,8	39,25	0,508	0,115	0,377	- 1,449
15	Gc 12,4	26,30	5,5	17,9	49,7	0,529	0,111	0,360	- 1,384
16	Gc 11,1	21,4	5,25	15,30	41,95	0,510	0,125	0,365	- 1,457
17	Gc 12,9	26,91	6,0	17,8	50,71	0,531	0,118	0,351	- 1,388
18	Gc 13,6	29,52	6,15	18,2	53,87	0,548	0,114	0,338	- 1,355
19	Gc 11,0	21,85	5,0	15,2	42,05	0,520	0,119	0,361	- 1,421
20	Gb 10,4	19,50	5,05	15,05	39,58	0,493	0,127	0,380	- 1,508
21	Gb 11,6	24,55	5,1	16,25	45,9	0,547	0,103	0,350	- 1,322
22	Ga 11,0	23,47	4,4	15,0	42,87	0,535	0,111	0,354	- 1,367
23	Ga 8,05	16,35	3,3	10,6	30,25	0,540	0,109	0,351	- 1,356
24	Ga 7,7	14,78	3,55	11,5	29,45	0,502	0,114	0,384	- 1,464

Baum Nr.	T _W	T _R =R	T _G =G	T _B =B	ΣR+G+B	r	g	b	χ ^A = Rechenmaß
25	Gc	11,30	23,47	5,05	43,87	0,535	0,115	0,350	- 1,373
26	Gc	9,05	19,5	3,55	35,2	0,534	0,101	0,345	- 1,299
27	Gc	10,0	22,41	3,7	38,31	0,585	0,097	0,318	- 1,206
28	Gc	14,4	30,3	6,6	56,7	0,545	0,116	0,339	- 1,346
29	Ga	10,6	24,0	1,15	41,5	0,578	0,100	0,322	- 1,230
30	Gc	15,20	33,50	7,05	62,6	0,567	0,113	0,320	- 1,280
31	Gc	10,35	22,38	4,15	39,53	0,566	0,105	0,329	- 1,272
32	Gc	11,1	25,7	4,35	44,95	0,572	0,097	0,331	- 1,243
33	Ga	11,05	25,01	4,5	44,01	0,568	0,098	0,334	- 1,256
34	Ga	16,1	26,92	8,6	56,02	0,480	0,154	0,366	- 1,583
35	Gc	12,2	22,9	5,8	45,4	0,504	0,128	0,368	- 1,478
36	Ga	14,1	26,92	6,6	52,62	0,512	0,125	0,363	- 1,452
37	Ga	11,1	19,95	5,35	41,1	0,485	0,130	0,385	- 1,535
38	Ga	15,4	28,18	7,0	56,78	0,496	0,134	0,370	- 1,510
39	Gb	15,60	28,35	8,05	57,9	0,498	0,139	0,363	- 1,511
40	Ga	14,4	28,18	7,15	54,68	0,515	0,131	0,354	- 1,452
41	Gb	15,2	26,92	8,05	55,02	0,489	0,146	0,365	- 1,545
42	Ga	15,15	24,55	6,25	48,6	0,505	0,129	0,366	- 1,477
43	Gc	17,5	32,35	9,15	64,5	0,502	0,142	0,356	- 1,504
44	Gc	16,5	32,35	8,10	61,45	0,526	0,132	0,342	- 1,422
45	Gc	16,6	33,88	8,05	62,93	0,538	0,128	0,334	- 1,383
46	Ga	17,2	34,65	8,4	63,55	0,529	0,128	0,343	- 1,408
47	Ga	16,6	30,2	9,1	60,3	0,501	0,151	0,348	- 1,519

Tab. 11: Die Lichtdurchlässigkeitswerte T_W , T_R , T_G , T_B und Farbanteile r , g , b der densitometrisch gemessenen lebenden Bäume vom Untersuchungsbestand
Bild Nr. 90

Baum Nr.	T_W	T_R	T_G	T_B	$\Sigma R+G+B$	r	g	b	$X^A = \text{Rechenmaß}$
1	Ga	20,5	42,0	27,0	80,4	0,522	0,142	0,536	0,699
2	Ga	21,0	43,0	27,0	82,15	0,532	0,148	0,529	0,711
3	Gc	9,5	17,5	15,8	38,1	0,459	0,126	0,415	0,724
4	Ga	17,0	33,0	23,3	65,5	0,504	0,140	0,356	0,712
5	Ga	16,1	31,5	23,0	63,3	0,498	0,139	0,363	0,715
6	Gc	15,0	31,5	20,5	59,2	0,532	0,122	0,346	0,643
7	Gc	12,6	23,0	18,5	47,7	0,482	0,130	0,388	0,710
8	Gb	13,8	27,5	18,6	52,6	0,523	0,123	0,354	0,654
9	Ga	14,3	31,0	19,2	56,6	0,548	0,113	0,339	0,606
10	Ga	12,5	25,0	17,1	47,6	0,525	0,116	0,359	0,636
11	Gc	11,0	21,5	14,7	41,0	0,524	0,117	0,359	0,639
12	Gc	12,1	24,0	15,7	44,85	0,535	0,115	0,350	0,623
13	Ga	12,5	23,2	17,0	45,7	0,508	0,120	0,372	0,662
14	Gc	12,1	21,0	18,15	45,3	0,464	0,136	0,400	0,742
15	Gc	13,8	25,0	19,6	51,4	0,486	0,132	0,382	0,711
16	Gc	15,6	30,0	22,5	60,6	0,495	0,131	0,371	0,707
17	Gc	15,7	30,0	21,0	59,1	0,508	0,137	0,355	0,701
18	Gc	17,6	34,0	23,0	66,1	0,514	0,138	0,348	0,697
19	Gc	10,8	19,5	16,1	41,1	0,474	0,134	0,392	0,727
20	Gb	11,2	20,5	16,2	42,3	0,485	0,132	0,383	0,652
21	Gb	14,0	25,0	19,1	50,9	0,491	0,134	0,375	0,711
22	Ga	11,1	20,5	16,1	42,1	0,487	0,131	0,382	0,708
23	Ga	14,5	25,0	20,5	52,85	0,473	0,139	0,388	0,740
24	Ga	11,4	21,0	17,1	43,8	0,479	0,130	0,391	0,713

Fortsetzung Seite 66

Baum Nr.	T_W	$T_R=R$	$T_G=G$	$T_B=B$	$\Sigma R+G+B$	r	g	b	$\chi^A = \text{Rechenmaß}$
25	Gc	16,1	31,5	21,5	61,1	0,516	0,132	0,352	0,681
26	Gc	12,0	22,0	17,1	44,8	0,491	0,127	0,382	0,694
27	Gc	13,1	24,0	18,2	48,55	0,494	0,131	0,375	0,701
28	Gc	16,1	34,0	22,0	63,9	0,532	0,124	0,344	0,647
29	Ga	14,2	25,5	20,0	52,8	0,483	0,138	0,379	0,728
30	Gc	12,8	24,5	17,35	47,85	0,512	0,125	0,363	0,669
31	Gc	16,7	31,5	22,5	63,05	0,500	0,143	0,357	0,725
32	Gc	16,0	40,0	20,0	66,9	0,598	0,103	0,299	0,544
33	Ga	13,4	30,0	17,8	53,8	0,558	0,111	0,331	0,592
34	Ga	16,0	27,0	20,5	56,4	0,479	0,161	0,360	0,785
35	Gc	10,1	20,4	13,49	38,26	0,531	0,114	0,355	0,643
36	Ga	10,5	21,0	14,1	39,6	0,530	0,114	0,356	0,626
37	Ga	13,1	26,0	18,3	50,2	0,518	0,117	0,365	0,645
38	Ga	10,6	20,5	15,3	40,25	0,498	0,122	0,380	0,676
39	Gb	12,35	23,2	17,5	46,95	0,494	0,129	0,377	0,696
40	Gc	14,8	21,0	19,2	57,8	0,545	0,123	0,332	0,632
41	Gb	11,1	23,0	16,0	42,33	0,496	0,126	0,378	0,687
42	Ga	11,1	23,0	15,1	42,9	0,536	0,112	0,352	0,616
43	Gc	12,35	22,5	17,2	45,95	0,490	0,136	0,374	0,716
44	Gc	12,05	22,5	16,05	44,25	0,508	0,129	0,363	0,682
45	Gc	11,3	22,0	15,8	42,95	0,512	0,120	0,368	0,658
46	Ga	12,3	22,5	17,25	45,9	0,490	0,134	0,376	0,712
47	Ga	19,95	35,7	24,0	73,5	0,483	0,190	0,327	0,848

Tab. 12: Die Lichtdurchlässigkeitswerte T_W , T_R , T_G , T_B und Farbanteile r , g , b der densitometrisch gemessenen abgestorbenen Bäume Untersuchungsbestand I Bild Nr. 089

Baum Nr.	Kronen- zustand	Absterbe- Jahr	Lichtdurchlässigkeit				Farbanteile			χ^B = Rechenmaß
			TW	TR	TG	TB	r	g	b	
1	Tb	1972	7,95	11,55	4,47	13,47	0,392	0,151	0,457	- 1,827
2	Tb	1970	4,07	5,68	2,29	6,87	0,383	0,154	0,463	- 1,856
3	Ta	1971	12,10	19,03	7,03	17,93	0,432	0,160	0,408	- 1,727
4	Ta	1971	16,67	27,38	9,60	22,5	0,460	0,162	0,378	- 1,650
5	Tc	1970	2,69	4,23	1,56	4,06	0,430	0,158	0,412	- 1,729
6	Ta	1974	9,86	15,57	5,52	15,15	0,427	0,153	0,420	- 1,731
7	Tb	1971	5,67	9,19	2,85	9,07	0,435	0,135	0,430	- 1,683
8	Tb	1972	7,2	10,10	4,21	12,22	0,381	0,159	0,460	- 1,869
9	Tb	1970	10,4	18,88	5,14	15,25	0,481	0,131	0,388	- 1,548
10	Tc	1968	11,25	20,45	5,65	15,68	0,489	0,135	0,375	- 1,528
11	Tb	1972	12,3	17,24	7,24	17,02	0,417	0,174	0,409	- 1,789
12	Tb	1972	13,33	16,75	8,60	17,3	0,392	0,202	0,406	- 1,899
13	Tc	1967	19,37	28,18	12,95	23,57	0,436	0,200	0,314	- 1,772
14	Tb	1971	4,37	5,57	2,68	7,79	0,348	0,166	0,468	- 1,972
15	Tc	1968	9,02	13,53	5,22	13,7	0,417	0,161	0,422	- 1,770
16	Tb	1969	6,67	7,47	4,28	12,22	0,310	0,178	0,512	- 2,005
17	Ta	1974	14,3	22,05	8,10	20,68	0,432	0,159	0,409	- 1,725
18	Ta	1974	14,5	24,0	8,06	20,1	0,461	0,155	0,385	- 1,641

Tab. 13: Die Lichtdurchlässigkeitswerte T_W , T_R , T_G , T_B und Farbanteile r , g , b der densitometrisch gemessenen abgestorbenen Bäume
Untersuchungsbestand I
Bild Nr. 90

Baum Nr.	Kronen- zustand	Absterbe- jahr	Lichtdurchlässigkeit			Farbanteile			χ^B = Rechenmaß	
			TW	TR	TG	TB	r	g		b
1	Tb	1972	11,8	15,05	8,0	20,56	0,545	0,184	0,471	0,970
2	Tb	1970	7,3	12,23	3,57	12,03	0,440	0,128	0,432	0,747
3	Ta	1971	8,5	12,33	5,07	14,1	0,341	0,161	0,448	0,871
4	Ta	1971	19,2	31,6	12,07	25,0	0,460	0,176	0,364	0,838
5	Tc	1970	4,18	6,45	2,2	7,07	0,410	0,140	0,450	0,804
6	Ta	1974	12,37	18,53	7,3	19,4	0,410	0,161	0,429	0,853
7	Tb	1971	6,82	9,88	3,77	12,17	0,383	0,147	0,470	0,847
8	Tb	1972	10,87	16,27	6,42	16,87	0,411	0,162	0,427	0,854
9	Tb	1970	12,93	21,68	6,88	19,03	0,455	0,145	0,400	0,772
10	Tc	1968	16,6	33,18	8,47	21,0	0,530	0,135	0,355	0,675
11	Tb	1972	12,47	19,33	7,18	17,47	0,440	0,163	0,397	0,828
12	Tb	1972	11,83	16,67	7,37	16,53	0,411	0,182	0,407	0,906
13	Tc	1967	20,37	30,84	14,4	25,17	0,438	0,205	0,357	0,927
14	Tb	1971	2,46	2,83	1,77	4,97	0,296	0,185	0,519	1,015
15	Tc	1968	11,93	16,42	7,78	17,68	0,392	0,186	0,422	0,928
16	Tb	1969	4,82	6,35	3,04	4,03	0,545	0,165	0,490	0,926
17	Ta	1974	7,63	12,12	4,1	12,77	0,418	0,141	0,441	0,788
18	Ta	1974	7,33	11,77	3,92	11,97	0,420	0,142	0,432	0,793

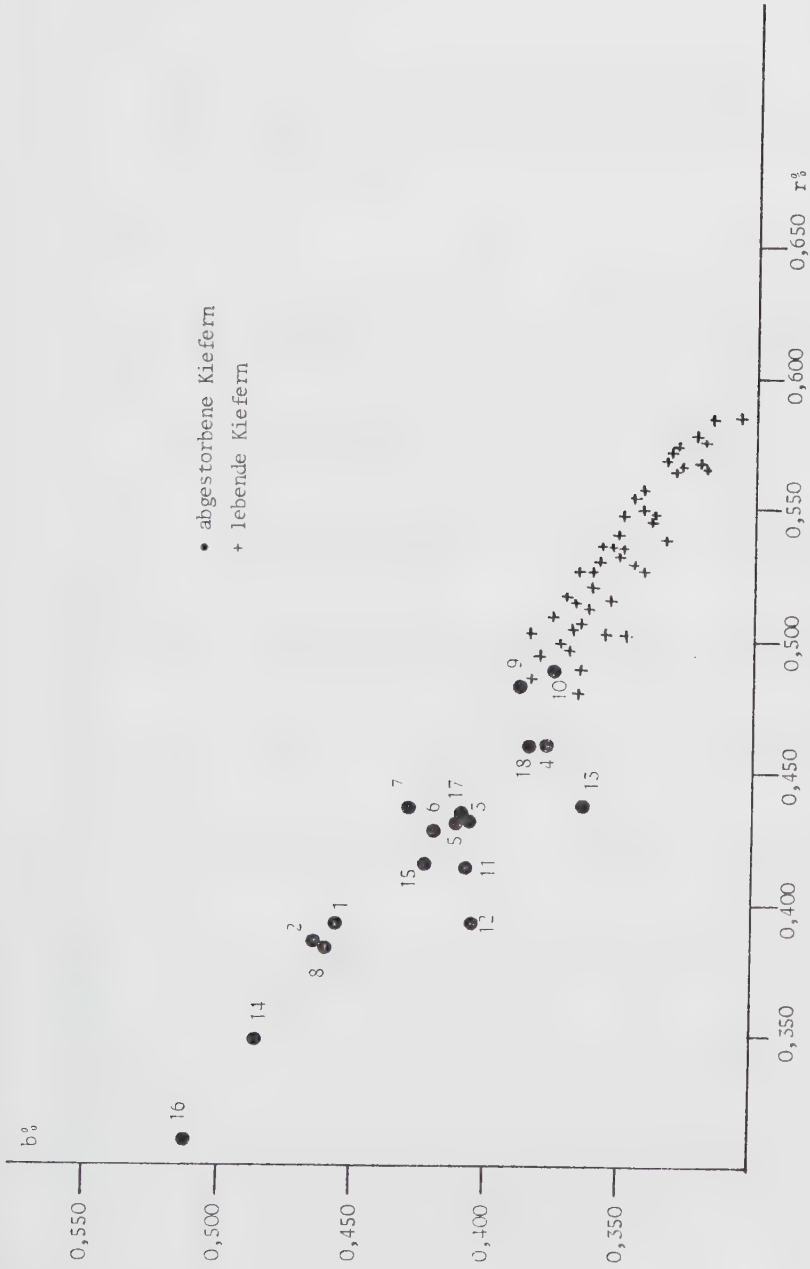


Abb. 28: Graphische Darstellung der densitometrischen Farbanteilewerte r (rot) und b (blau) von lebenden und toten Kiefern des Untersuchungsbestandes I im Luftbild 089

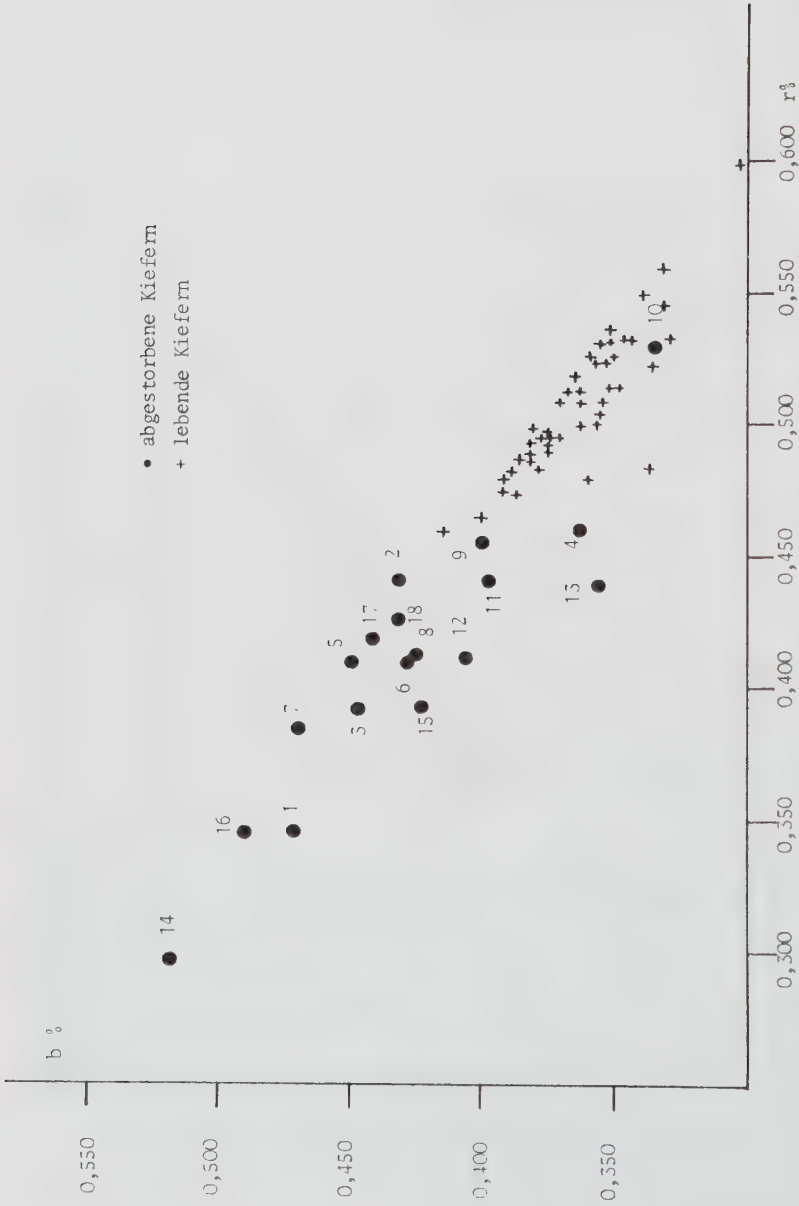


Abb. 29: Graphische Darstellung der densitometrischen Farbanteilewerte r (rot) und b (blau) von lebenden und toten Kiefern des Untersuchungsbestandes I im Luftbild 090

Tab. 14: Die Lichtdurchlässigkeitswerte T_W , T_R , T_G , T_B und Farbanteile r , g , b der densitometrisch gemessenen lebenden Bäume vom Untersuchungsbestand II
Bild Nr. 127

Baum Nr	T_W	T_R	T_G	T_B	$\Sigma R+G+B$	r	g	b	$\chi^2_A = \text{Rechenmaß}$
48	Ga	7,4	19,7	2,25	27,25	0,723	0,083	0,194	- 2,514
49	Gc	9,4	24,0	2,8	34,6	0,694	0,081	0,225	- 3,649
50	Ga	4,2	12,3	1,22	15,92	0,773	0,072	0,150	- 0,849
51	Gb	11,6	30,50	4,05	15,75	0,667	0,088	0,245	- 4,432
52	Ga	9,4	27,0	2,4	36,0	0,750	0,067	0,183	- 2,008
53	Ga	8,1	23,1	2,15	30,25	0,764	0,071	0,165	- 1,435
54	Ga	12,35	34,0	4,02	49,32	0,689	0,082	0,229	- 3,803
55	Ga	12,05	31,0	4,3	45,35	0,683	0,095	0,222	- 3,624
56	Gb	9,1	25,0	2,35	32,95	0,759	0,071	0,170	- 1,552
57	Ga	10,35	30,05	3,0	40,3	0,746	0,074	0,180	- 1,940
58	Ga	12,05	37,0	3,2	49,45	0,729	0,074	0,187	- 2,144
59	Ga	8,25	22,5	2,3	30,9	0,729	0,074	0,198	- 2,606
60	Ga	11,1	31,5	3,3	44,2	0,713	0,075	0,212	- 3,131
61	Ga	10,3	31,0	3,0	42,15	0,735	0,071	0,194	- 2,440
62	Ga	6,25	17,7	1,83	23,43	0,755	0,078	0,167	- 1,484
63	Ga	5,8	16,1	1,72	21,22	0,759	0,081	0,160	- 1,244
64	Ga	11,8	32,5	3,6	45,6	0,713	0,079	0,208	- 3,007
65	Ga	9,8	25,0	3,05	35,45	0,705	0,086	0,209	- 3,088
66	Ga	10,0	25,0	3,1	36,1	0,693	0,086	0,221	- 3,532
67	Ga	5,15	14,15	1,53	18,88	0,749	0,081	0,170	- 1,614
68	Ga	8,5	23,0	2,35	31,68	0,726	0,074	0,200	- 2,680
69	Ga	10,15	23,5	3,45	35,45	0,663	0,097	0,240	- 4,303
70	Ga	11,1	28,0	3,5	40,6	0,690	0,086	0,224	- 3,643
71	Gc	7,1	18,4	2,25	25,9	0,710	0,087	0,203	- 2,872
2	Ga	2,5	7,7	0,7	9,61	0,800	0,074	0,126	- 0,058
	Ga	5,1	10,8	2,1	16,22	0,666	0,129	0,205	- 3,205

Tab. 15: Die Lichtdurchlässigkeitswerte T_W , T_R , T_G , T_B und Farbanteile r , g , b der densitometrisch gemessenen lebenden Bäume vom Untersuchungsstand II
Bild Nr. 128

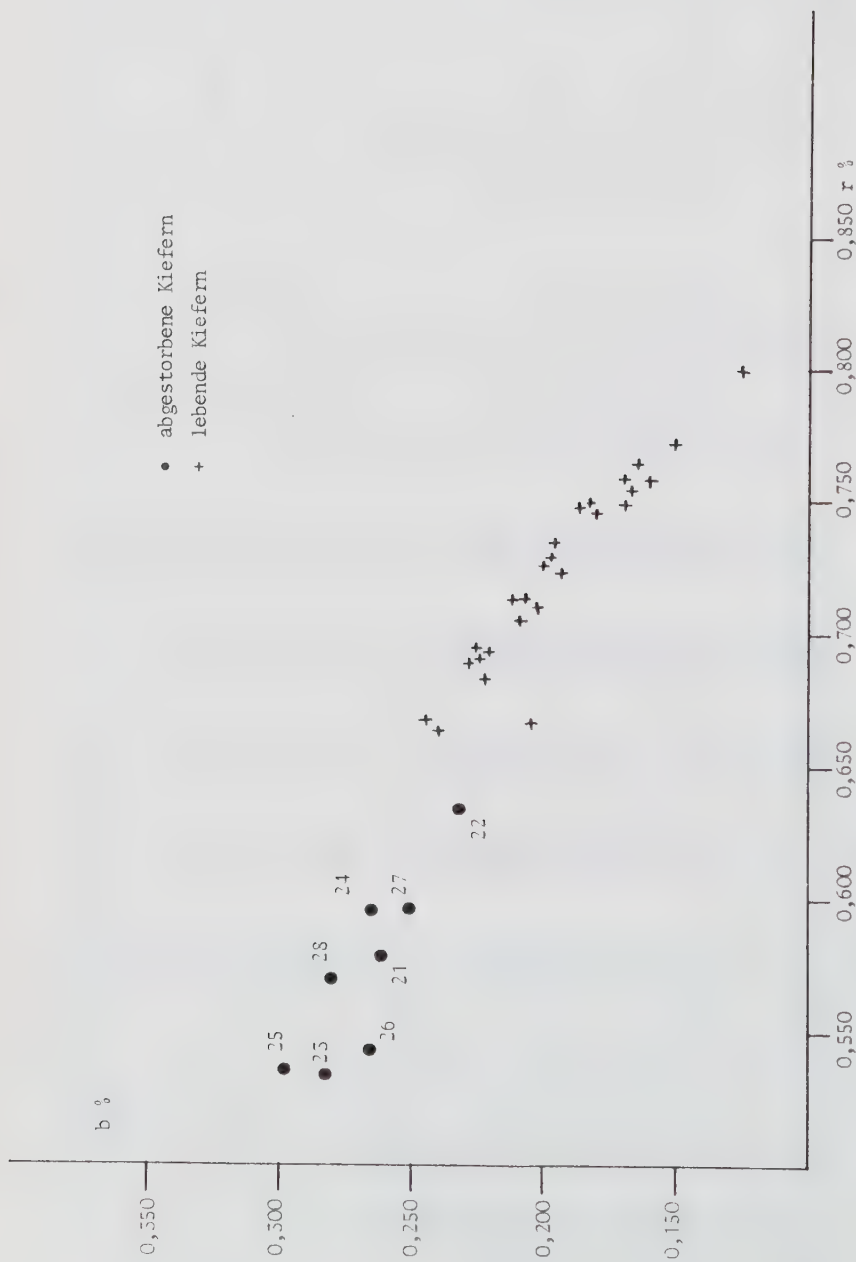
Baum Nr.	T_W	$T_R=R$	$T_G=G$	$T_B=B$	$\Sigma R+G+B$	r	g	b	$X^A = \text{Rechenmaß}$
48	Ga	6,35	1,8	3,35	23,55	0,782	0,076	0,142	+ 0,573
49	Cc	7,4	2,0	4,3	28,8	0,781	0,070	0,149	+ 0,534
50	Ga	7,3	21,5	4,1	27,55	0,780	0,071	0,149	+ 0,531
51	Cb	6,05	17,8	3,05	22,45	0,793	0,071	0,136	+ 0,636
52	Ga	7,03	21,0	1,62	25,67	0,818	0,063	0,119	+ 0,795
53	Ga	6,7	20,2	1,65	24,45	0,826	0,067	0,107	+ 0,880
54	Ga	8,9	26,0	2,1	33,2	0,783	0,063	0,154	+ 0,515
55	Ga	8,35	23,2	5,05	30,5	0,760	0,074	0,166	+ 0,386
56	Cb	5,5	16,8	1,32	20,17	0,833	0,065	0,102	+ 0,926
57	Ga	6,4	20,5	1,42	23,87	0,840	0,059	0,101	+ 0,951
58	Ga	8,1	24,0	1,87	29,92	0,802	0,063	0,135	+ 0,667
59	Ga	6,7	21,0	3,05	25,58	0,821	0,060	0,119	+ 0,804
60	Ga	8,1	23,0	4,7	29,75	0,773	0,069	0,158	+ 0,465
61	Ga	6,65	20,2	3,25	24,88	0,805	0,065	0,130	+ 0,701
62	Ga	5,4	16,6	1,3	20,15	0,824	0,064	0,112	+ 0,848
63	Ga	6,7	20,5	3,2	24,86	0,807	0,065	0,128	+ 0,717
64	Ga	6,8	19,7	1,82	24,92	0,791	0,073	0,136	+ 0,630
65	Ga	8,1	23,0	2,25	30,65	0,750	0,074	0,176	+ 0,306
66	Ga	9,60	26,0	5,4	35,2	0,739	0,071	0,190	+ 0,203
67	Ga	6,3	20,0	2,5	23,95	0,835	0,061	0,104	+ 0,921
68	Ga	8,6	27,0	4,7	33,75	0,800	0,061	0,139	+ 0,641
69	Ga	6,5	18,0	1,87	24,2	0,744	0,077	0,179	+ 0,274
70	Ga	8,3	23,0	4,33	31,72	0,725	0,073	0,202	+ 0,101
71	Gc	6,5	18,1	2,32	23,45	0,772	0,079	0,149	+ 0,508
72	Ga	4,4	14,0	1,85	17,09	0,819	0,067	0,114	+ 0,823
73	Ga	5,9	16,5	1,94	21,62	0,763	0,080	0,157	+ 0,660
			1,72	3,4					

Tab. 16: Die Lichtdurchlässigkeitswerte T_W , T_R , T_G , T_B und Farbanteile r, g, b, der densitometrisch gemessenen abgestorbenen Bäume. Im Untersuchungsbestand II, Luftbild Nr. 127

Baum Nr.	Kronenzustand	Absterbejahr	Lichtdurchlässigkeitswerte				Farbanteile %			X = Rechenmaße
			T_W	T_R	T_G	T_B	r	g	b	
21	Tc	1972	3,28	6,09	1,69	2,75	0,578	0,161	0,261	5,475
22	Tc	1971	3,16	6,42	1,35	2,35	0,634	0,134	0,232	4,432
23	Tb	1969	4,03	8,03	1,89	3,58	0,595	0,140	0,265	5,493
24	Tb	1968	5,67	8,57	2,98	4,53	0,533	0,185	0,282	6,400
25	Tb	1970	3,87	6,52	2,02	3,65	0,535	0,166	0,299	6,912
26	Ta	1972	16,52	27,01	9,53	13,17	0,543	0,192	0,265	5,815
27	Tb	1970	4,6	8,75	2,27	3,67	0,596	0,154	0,250	5,184
28	Ta	1974	7,27	13,67	3,60	6,72	0,570	0,150	0,280	6,110

Tab. 17: Im Untersuchungsbestand II, Luftbild Nr. 128

21	Tc	1972	2,70	4,92	1,32	1,96	0,600	0,161	0,239	-0,453
22	Tc	1971	4,31	9,80	1,81	3,08	0,667	0,123	0,210	-0,110
23	Tb	1969	4,32	9,63	1,74	2,85	0,677	0,122	0,201	-0,035
24	Tb	1968	5,12	8,67	2,39	3,30	0,604	0,166	0,230	-0,396
25	Tb	1970	2,15	3,43	1,15	1,57	0,558	0,187	0,225	-0,659
	Ta	1972	7,53	12,12	3,67	3,73	0,621	0,188	0,191	-0,148
	Tb	1970	3,82	7,37	1,71	2,37	0,644	0,149	0,207	-0,162
	Ta	1974	6,44	10,77	3,25	5,35	0,556	0,168	0,276	-0,770



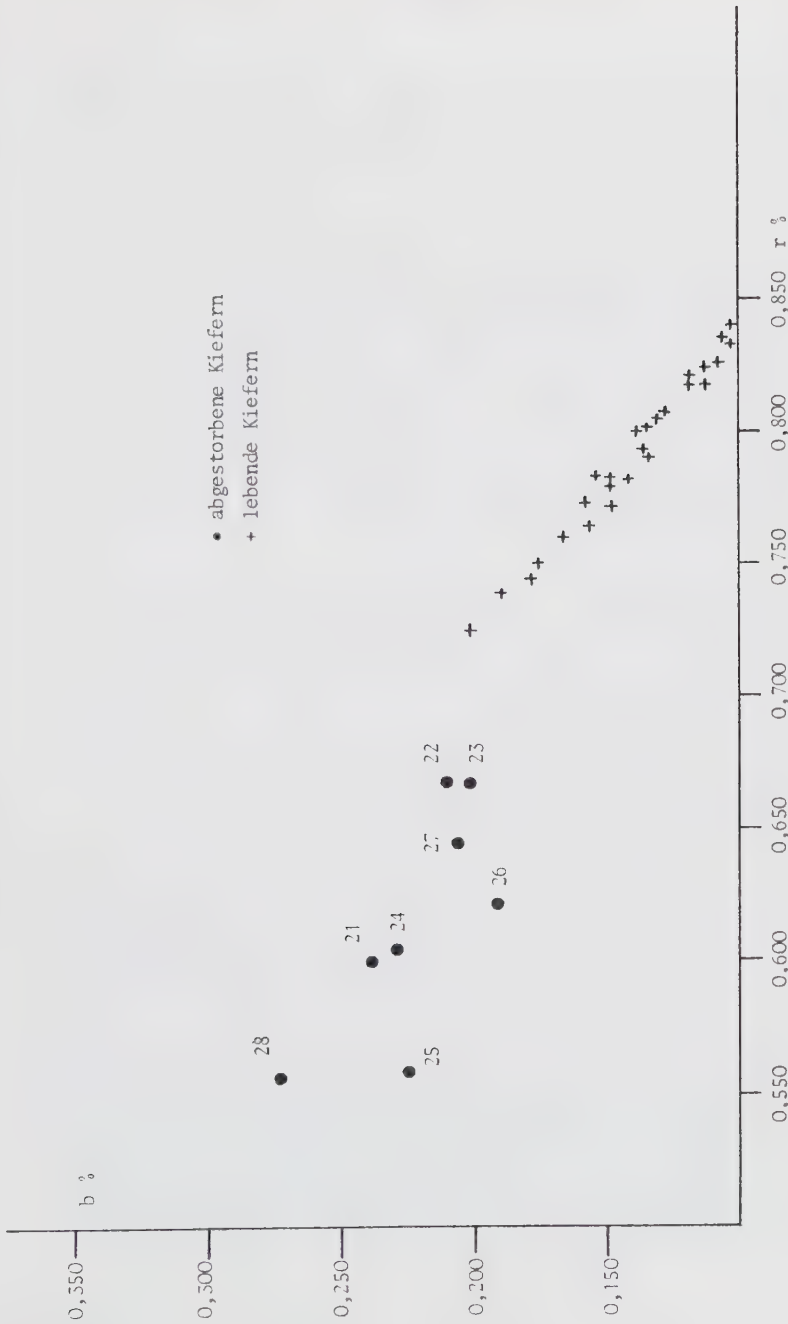


Abb. 31: Graphische Darstellung der densitometrischen Farbanteilewerte rot (r) und blau (b) von lebenden und toten Kiefern des Untersuchungsbestandes II im Luftbild 128

Für den Untersuchungsbestand I wurden die Tabellen 10 bis 13 und Abbildungen 28 und 29 bzw. für den Untersuchungsbestand II Tabelle 14 bis 17 und die Abbildungen 30 und 31 wie folgt erstellt.

In den Tabellen 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 sind in Spalte 1 die Kenn-Nummern der Bäume eingetragen. In Spalte 2 wird die Klassifizierung der Kronenzustände aus Tabelle 2, Spalte 2 wiederholt. Spalte 3 in Tabelle 12 und 13 bzw. Tabelle 16 und 17 zeigt das "Absterbejahr" jedes Untersuchungsbaumes, wie es sich aus der Bohrspanauswertung ergeben hatte.

In den Spalten 4,5,6,7 sind die Transmissionswerte eingetragen. Die Spalten 8,9,10 zeigen die entsprechenden Farbanteile der einzelnen Untersuchungsbäume, die durch Berechnungen aus den Transmissionswerten gefunden wurden.

In den Abbildungen 28, 29 und 30, 31 wurden die Farbanteile r (rot) denen von b (blau) gegenübergestellt, da die Kombinationen von r (rot) gegenüber g (grün) und g (grün) gegenüber b (blau) keine definitiven Lösungen ergeben.

Nach diesen Vorerklärungen werden nun die Ergebnisse je nach dem Untersuchungsbestand wie folgt diskutiert:

a) Zur Frage der Erkennung der abgestorbenen Kiefern.

- In die densitometrischen Messungen wurden für diese Untersuchungen im Untersuchungsbestand I 18 tote und 47 lebende bzw. im Untersuchungsbestand II 8 tote und 26 lebende Bäume einbezogen. Die Gegenüberstellung der Farbanteile r (rot) gegenüber b (blau) brachte für beide Untersuchungsbestände eine klare Differenzierung der toten gegenüber den lebenden Bäumen. Die Abbildungen 28 und 29 belegen dies für den Untersuchungsbestand I, die Abbildungen 30 und 31 für den Untersuchungsbestand II. Es zeigt sich, daß sich für die toten und lebenden Bäume jeweils getrennte Cluster bilden. Wobei im Untersuchungsbestand I das Cluster für lebende Bäume auffallend eng begrenzt ist, d.h. daß hier die

densitometrischen Werte für die einzelnen Baumkronen ausgesprochen ähnlich sind. Betrachtet man die aus der terrestrischen Begutachtung hervorgegangenen Klassifizierung der lebenden Baumkronen nach gut, mittel, schlecht für den Untersuchungsbestand I so ist dieses Ergebnis etwas überraschend; im Untersuchungsbestand I liegt eine ausgesprochene Differenzierung des Kronenzustandes vor. 40% der Untersuchungsbäume wiesen eine relativ vitale Krone (G_a) auf, 11% eine Krone mittleren Zustandes (G_b) und 49% ausgesprochen dürftige Kronen (G_c). Danach hätte man eine deutliche Differenzierung der Farbanteile erwarten können. Sie wäre zumindest größer als im Untersuchungsbestand II zu erwarten gewesen, da im Untersuchungsbestand II ein sehr homogener Kronenzustand der lebenden Kiefern vorliegt. (G_a 85%, G_b 7,5%, G_c 7,5%). Aus dieser Beobachtung zeigt sich für die forstlichen Luftbildinterpretationen eine Grenze der Aussagefähigkeit bezüglich der Ansprache des Gesundheitszustandes der Bäume eines Kiefernbestandes. Wenn auch aus dem vorliegenden Beispiel noch keine entgeltliche und allgemeine Schlußforderung gezogen werden kann, so ist doch zu sagen, daß offensichtlich in Kiefernbeständen keine so weitgehende und sichere Klassifizierung der lebenden Kronen nach ihrem Gesundheitszustand vorgenommen werden kann, wie dies KENNEWEG 1972 in geschädigten Fichtenbeständen möglich war. Diese Begrenzung wird auch belegt durch die Abbildungen 28 u. 29. Hier ist das Cluster der lebenden Kiefern aus den vorstehenden Abbildungen noch einmal dargestellt, jedoch mit einer Differenzierung nach dem Kronenzustand (G_a , G_b , G_c). Es zeigt sich, daß zumindest im vorliegenden Bildmaterial keine sicheren Unterschiede der Farbanteile für die drei Kronenzustandsklassen bestehen.

Kommt man auf die Abbildungen 28, 29 und 30, 31 und die Frage der Unterscheidbarkeit von abgestorbenen und lebenden Kronen zurück, so ist neben der bereits eingangs getroffenen Feststellung generell zu sagen, daß die deutlich getrennt liegenden Clustern beider Teilkollektive längs gestreckt sind (vgl. die Abb. 29), sodaß sie sich im wesentlichen auf einer geraden Linie anordnen lassen. Dies

Letztere gilt ausgesprochen für den Untersuchungsbestand I, ist aber mit Einschränkungen auch für den Untersuchungsbestand II noch zutreffend.

Die Clusterbildung ist sehr eindeutig. nur in einem sehr kleinen Bereich ergibt sich bei dem Untersuchungsbestand I eine Überlappung der Cluster. Im Untersuchungsbestand II liegt eine vollständige Trennung vor. In einem einzigen Fall (Untersuchungsbestand I, Bild 090, Kiefer $T_c 10$, siehe Abb. 29) liegt ein Ausreiser vor. $T_c 10$ ist eine skelettierte Kiefer, deren Kronenabbildung kleiner als 0,5 mm Durchmesser war. Bei den densitometrischen Messungen dieses Skelettes im Bild Nr. 90 (Abbildung 29) wurden deutlich Anteile lebender Bodenvegetation mit erfaßt. Diese Kiefer ist im Luftbild Nr. 090 fast genau im Bildmittelpunkt abgebildet, sodaß durch die dünnen nadellosen Äste hindurch die Bodenvegetation sichtbar war und damit die Farbbildung bestimmte.

Zur Absicherung der Ergebnisse sind beide Untersuchungsbestände in zwei verschieden aufeinander folgend aufgenommenen Luftbildern untersucht worden. Die Untersuchungsbestände waren daher jeweils an einem anderen Bildort abgebildet. Der Vergleich von Abbildung 28, 29 und 30 mit 31 zeigt übereinstimmend, daß die Ergebnisse unabhängig vom Bildort sind. Bezüglich der weiteren Einflüsse der Bildortslage wird auf Kap. 4 verwiesen (s.S. 158ff.).

Zusammenfassend kann zu den aufgeworfenen Fragen gesagt werden:

1. Tote und lebende Kiefern eines Bestandes lassen sich durch unterschiedliche Farbbildungen deutlich voneinander unterscheiden.
2. Die densitometrischen Messungen zeigen eindeutig die höheren Rotanteile (r) lebender, und die höheren Blauanteile (b) abgestorbener Baumkronen.

3. Innerhalb der Teilkollektive der lebenden bzw. der abgestorbenen Kronen gibt es ebenfalls mehr oder weniger große farbliche Unterschiede. Bei den lebenden Kiefern ließ sich dabei kein Zusammenhang zu dem Kronenzustand nachweisen. Bei den abgestorbenen Kronen ist als nächster Schritt zu prüfen, ob diese Differenzierung durch das Jahr des Absterbens erklärt werden kann.
4. Die Trennung in tote und lebende Kiefern ist unabhängig von der Bildortlage möglich.

Eine weitere statistische Auswertung der densitometrischen Messungen zur Untersuchung, in wie weit die toten und lebenden Bäume durch Diskriminanzanalyse sich trennen lassen und wie hoch der Sicherheitsgrad einer solchen Trennung ist, wird in Kapitel 2.7. vorgenommen.

b) Zur Frage der Bestimmung des Absterbejahres.

Die Bohrspanauswertung (s.S. 53) hatte eindeutig ergeben, daß die untersuchten noch im Bestand stehenden toten Kiefern in verschiedenen Jahren abgestorben waren. Neben solchen, die im Jahr der Luftbildaufnahme (1974) abgestorben sind, wurden andere festgestellt, die bereits seit 2,3,4 oder mehr Jahren abgestorben sind.

Andererseits wiesen die Kronen der toten Kiefern bei gutächtlicher Ansprache im Gelände unterschiedliche Erscheinungsbilder auf. Neben solchen die noch abgestorbene Nadeln trugen (T_a = Krone), gab es bis zum grob skelettierten Baum (T_c = Kronen) verschiedene Übergänge (T_b = Kronen). (Siehe Tab. 2 und 3, S. 26ff.).

Zwischen dem Absterbejahr und dem Erscheinungsbild der "Kronen" gibt es eine wenn auch nicht völlig eindeutige Beziehung.

Sie ist in Tabelle 18 zu erkennen.

Tab. 18:

Absterbejahr	Kronenzustand		
	T _a	T _b	T _c
im Jahr der Luftbildaufnahme	...	-	-
Zwei bis drei Jahre vor der Luftbildaufnahme	..		-
vier Jahre und mehr vor der Luftbildaufnahme	-	...	

Die visuelle "klassische" Luftbildinterpretation unter dem Spiegelstereoskop läßt für die abgestorbenen Kiefern unterschiedliche Farben erkennen. Diese reichen im Untersuchungsbestand I (Bild 089/090) von einem hellen grau mit rötlichem Schimmer bis zum dunklen blaugrau und im Untersuchungsbestand II (Bild 127/128) vom hellen grau-grün bis zum dunklen blaugrau. Die unterschiedlichen Farbwerte (die sich auch aus den Abbildungen 28 und 30 ablesen lassen) gehen auf die auf S. 9 beschriebenen, ungeklärten Farbwertunterschiede innerhalb des gesamten Bildmaterials zurück. Es wird in diesem Zusammenhang auf die Ausführungen von KENNEWEG (1972, S. 113ff.) verwiesen.

Schließlich hatten die Densitometermessungen - wie die Abbildungen 28, 29 und 30, 31 und die Tabellen 10-13 und 14-17 zeigten - eine relativ starke Differenzierung der Farbanteile rot (r) und blau (b) für die Gruppe der abgestorbenen Kiefern ergeben. Diese schwankten, wie in Tabelle 19 nochmals angegeben.

Tab. 19:

Untersuchungs- bestand	Bild-Nr.	Farbanteile	
		rot (r)	blau (b)
I	089	0,310 - 0,490	0,360 - 0,510
	090 ¹⁾	0,300 - 0,460	0,350 - 0,520
II	127	0,480 - 0,630	0,230 - 0,300
	128	0,550 - 0,670	0,190 - 0,270

1) ohne den Ausreiser T_C 10

Bei diesen Sachverhalten sind die folgenden Fragen aufzuwerfen, ob

1. Beziehungen zwischen dem Absterbejahr und den Farbanteilen in den Kronenabbildungen im Luftbild bestehen und ob sich
2. Beziehungen zwischen dem gutachtlich, terrestrisch angesprochenen Kronenzustand und den Farbanteilen im Luftbild nachweisen lassen.

Die Analyse der Beziehungen ergab **keine eindeutigen Zuordnungen**.

Abb. 32 zeigt für den Untersuchungsbestand I zwar, daß die jüngst abgestorbenen (1974) Kiefern farblich recht einheitlich erscheinen, daß sie aber nicht von den seit mehreren Jahren toten zu trennen sind. Letztere weisen erheblich differenzierte Farben auf. Dies gilt sowohl für die zwei bis drei Jahre toten, wie für die seit mehr als vier Jahren abgestorbenen Kiefern.

Dieses Ergebnis bestätigt einerseits KENNEWEG's (1972) Beobachtungen, daß abgestorbene aber noch Laub bzw. Nadeln tragende Bäume in verschiedenen Farben im IR-Farbluftbild erscheinen können. Sie widerlegen jedoch andererseits zumindest für die Kiefer seine Vermutung, daß

ein definierbarer Zusammenhang zwischen den auftretenden Farben und der Zeit seit dem Absterben vorliegt.

Auch die Untersuchung der Beziehung zwischen Kronenzustand und Farbanteilen im Luftbild führt nicht wesentlich weiter (Abb. 32).

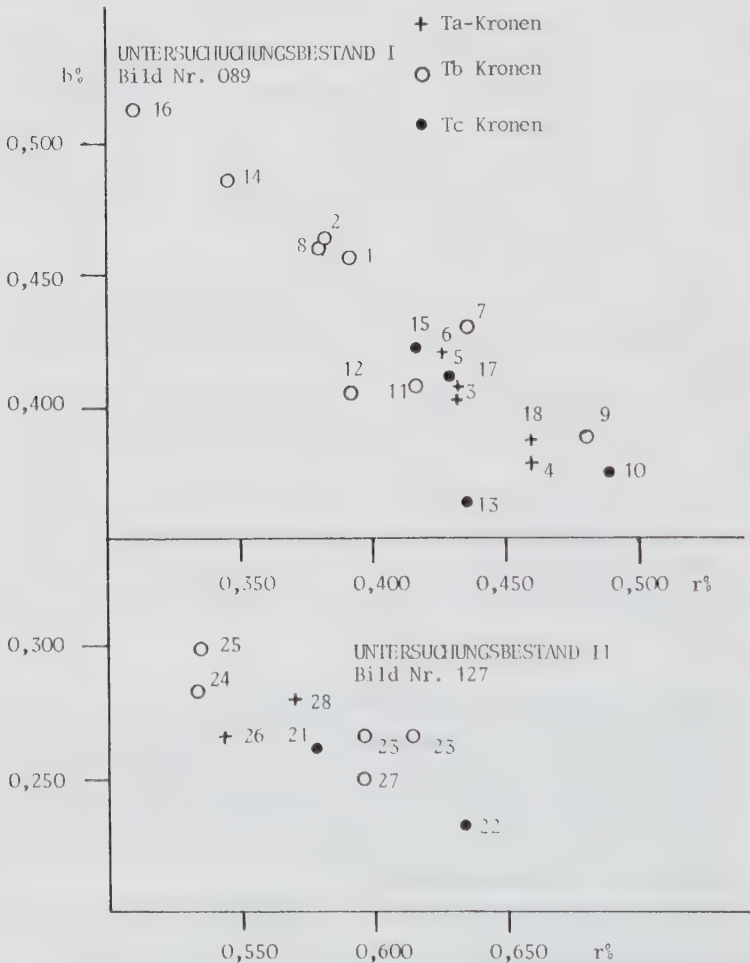


Abb. 32: Graphische Darstellung der densitometrischen Farbanteilwerte rot (r) und blau (b) von abgestorbenen Kiefern nach ihrem Kronenzustand.

Lediglich gewisse Andeutungen von Beziehungen lassen sich erkennen: So weisen die T_b -Kronen im Untersuchungsbestand I und im Bild 089 mit einer Ausnahme die höchsten Blauanteile und geringsten Rotanteile auf. Kiefern mit T_a -Kronen, die noch spärlich Nadelreste tragen, zeigen dagegen höhere Rotanteile (r) und vice versa geringere Blauanteile (b). Dies erscheint folgerichtig, wenn man bedenkt, daß die Nadeln eine stärkere Infrarot-Reflexion aufweisen und im IR-Farbbild rote Abbildungen hervorrufen. Die Kiefern mit T_c -Kronen, also stark skelettierte Exemplare, geben ähnliche Farbwerte wie T_a -Kronen, ja die Messungen ergaben hier sogar noch etwas stärkere Rotanteile (r). Auch dies ist erklärbar, da - wie schon in anderem Zusammenhang erläutert - durch die Densitometermessung neben dem grau-blau abgebildeten Skelett mehr oder weniger große Anteile von lebender Bodenvegetation bzw. benachbarter lebender Bäume mit erfaßt wurden.

Eine solche Zuordnung ist freilich bereits für den Untersuchungsbestand II nicht mehr klar zu belegen. Trotz des erklärbaren Ergebnisses welches sich im Untersuchungsbestand I andeutet, muß festgestellt werden, daß Sicherheit für diese Aussage nicht gewonnen werden kann.

Es bleibt die Frage offen, ob das hier gefundene Ergebnis schon verallgemeinert werden darf. Es wird daran erinnert (s. Abb. 7 u.8), daß die Untersuchungsbestände, bedingt durch ihren nicht sehr befriedigenden Pflegezustand und wohl auch durch die Art der Holznutzung Unregelmäßig strukturiert sind. Dies mag zur Folge haben, daß zur gleichen Zeit abgestorbene, aber noch mehrere Jahre im Bestand verbliebene Bäume nicht den gleichen Kronenzustand zeigen. Unterschiedlicher Windzugriff durch unterschiedliche Lage im Bestand, soziologische Stellung oder Abschirmung durch lebende Nachbarbäume mögen einen raschen oder verzögerten Verlust des Nadelkleides bedingen. Unter den gegebenen Bestandesverhältnissen wurde dadurch das Fehlen eines eindeutigen Zusammenhanges zwischen Absterbejahr und Kronenzustand bzw. Kronenfarbe im IRC-Luftbild erklärbar; es würde gleich-

zeitig jedoch offen bleiben, ob ein solcher Zusammenhang in homogenen Nadelholzbeständen mit vollem, gleichmäßigen Schulßgrad und höheren Alters nicht doch auftritt. Hier wären spätere Untersuchungen anzusetzen.

2.7. Quantitative Interpretation mit Hilfe der Diskriminanzanalyse und Feststellung des Sicherheitsgrades mit der Varianzanalyse

Ergebnisse

Im Abschnitt 2.6. hatte sich ergeben, daß offenkundig die abgestorbenen und die lebenden Kiefern im IRC-Luftbild unterschiedliche Farben aufwiesen, daß es aber nicht möglich ist, das Absterbejahr anhand der Abbildungsfarbe zu definieren.

In diesem Abschnitt soll nun zusätzlich die Frage beantwortet werden, ob durch eine Diskriminanzanalyse mit Hilfe der densitometrischen Meßwerte die beiden Gesamtheiten der toten und lebenden Kiefern getrennt werden können. Eine Signifikanzprüfung soll danach feststellen, ob die ermittelte Diskriminanzfunktion eine wirkliche Trennung der Gesamtheiten bewirkt.

Bei der Durchführung der Diskriminanzanalyse wird dem bei E. WEBER (1964) und A. KILQIENMANN (1965) beschriebenen Rechengang gefolgt. Auch AKCA (1970) und SCHÖDLER (1973) benutzten bei ähnlichen Fragestellungen im Rahmen von Luftbilddauswertungen diesen Weg. Die Beschreibung der mathematischen Ableitung folgt diesen vier Autoren, wobei einige Passagen im Wortlaut übernommen wurden.

2.7.1. Diskriminanzanalyse (Trennverfahren)

"Zweck der Diskriminanzanalyse ist die Trennung verschiedener Gesamtheiten und die Zuordnung fraglicher Elemente zu einer der Gesamtheiten. Die Trennung erfolgt durch Erfassung einer Anzahl von Merkmalen an jedem einzelnen Element der Gesamtheiten und durch Aufstellung einer Funktion (= Trennformel), die über die Zuordnung der Elemente entscheidet und daher als Entscheidungsfunktion (W. LUDWIG) bezeichnet wird. Das Verfahren trägt auch den Namen Trennverfahren (A. LINDER)." (E. WEBER 1964, S. 437).

In dieser Arbeit bilden die toten und die lebenden Kiefern je eine Gesamtheit. Diese werden im Folgenden A für die lebenden und B für die toten Kiefern bezeichnet. Die Merkmale x des einzelnen Elementes (im Luftbild abgebildete Baumkrone 1.....n) sind dessen densitometrisch gemessene Farbanteile r (rot), g (grün), b (blau).

Gesamtheit A			Gesamtheit B		
rot	grün	blau	rot	grün	blau
x_{11A}	x_{12A}	x_{13A}	x_{11B}	x_{12B}	x_{13B}
•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•
x_{n1A}	x_{n2A}	x_{n3A}	x_{n1B}	x_{n2B}	x_{n3B}

Diese x -Werte sollen nun zu einem neuen Maß (X) verbunden werden, und zwar so, daß eine bestmögliche Trennung der Gesamtheiten A und B erreicht wird.

$$X = b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3$$

Es soll also für jede Beobachtung, für jeden Untersuchungsbaum, ein neuer Wert X (Rechenmaß), der aus der Kombination der drei x -Werte

resultiert, gefunden werden.

So erhält man

$$X_{1A} \dots X_{nA} \quad X_{1B} \dots X_{nB}$$

Die gewünschte bestmögliche Trennung erreicht man dann, wenn die b-Koeffizienten so berechnet werden, daß die folgenden Forderungen erfüllt werden:

- 1) Die Differenz der Mittelwerte für $\bar{X}$ in den beiden Gesamtheiten soll möglich groß sein.

$$d = \bar{X}_A - \bar{X}_B = \max.$$

- 2) Die Summe der Quadrate der Abweichungen der X von den Mittelwerten $\bar{X}$ innerhalb der beiden Gesamtheiten soll möglichst klein sein.

$$T = \sum (X_A - \bar{X}_A)^2 + \sum (X_B - \bar{X}_B)^2 = \min.$$

Die beiden Forderungen lassen sich durch den Quotienten

$$Q = \frac{d^2}{T},$$

der möglichst groß sein soll, zum Ausdruck bringen.

$$b_1 \cdot q_{11} + b_2 \cdot q_{12} + b_3 \cdot q_{13} = d_1$$

$$b_1 \cdot q_{21} + b_2 \cdot q_{22} + b_3 \cdot q_{23} = d_2$$

$$b_1 \cdot q_{31} + b_2 \cdot q_{32} + b_3 \cdot q_{33} = d_3$$

wobei

$$q_{ii} = \sum_{k=A}^B S(X_i^k)^2 - \sum_{k=A}^B \frac{[S(X_i^k)]^2}{n^k} \quad \text{und}$$

n = Anzahl aller Elemente in der Gesamtheit k ($k=A$ oder B)

$$q_{ij} = \sum_{k=A}^B S X_i^k \cdot X_j^k - \sum_{k=A}^B n^k \cdot \bar{X}_i^k \cdot \bar{X}_j^k$$

oder, um die Gleichungen zu vereinfachen, was in der Praxis der Fall ist, formt man sie so um, daß anstelle (q_{ii}) und (q_{ij}) die Korrelationskoeffizienten (r_{ij}) treten, nämlich

$$b'_1 + r_{12} \cdot b'_2 + r_{13} \cdot b'_3 = d'_1$$

$$r_{12} \cdot b'_1 + b'_2 + r_{23} \cdot b'_3 = d'_2$$

$$r_{13} \cdot b'_1 + r_{23} \cdot b'_2 + b'_3 = d'_3$$

$$\text{Worin } b'_1 = b_1 / \sqrt{q_{11}} \quad r_{12} = \frac{q_{12}}{\sqrt{q_{11} \cdot q_{22}}} \quad d'_1 = \frac{d_1}{\sqrt{q_{11}}}$$

$$b'_2 = b_2 / \sqrt{q_{22}} \quad r_{13} = \frac{q_{13}}{\sqrt{q_{11} \cdot q_{33}}} \quad d'_2 = \frac{d_2}{\sqrt{q_{22}}}$$

$$b'_3 = b_3 / \sqrt{q_{33}} \quad r_{23} = \frac{q_{23}}{\sqrt{q_{22} \cdot q_{33}}} \quad d'_3 = \frac{d_3}{\sqrt{q_{33}}}$$

sind.

Die auf diese Weise berechneten Werte von b_1 , b_2 , b_3 ergeben die günstigste Trenn- oder Entscheidungsformel. Das Rechenmaß (X) heißt, wie schon eingangs erwähnt, **l i n e a r e D i s k r i m i n a n z - f u n k t i o n**. Mit ihrer Hilfe kann man entscheiden, welcher der

beiden Gesamtheiten ein Element zugehört. Die aus den Gleichungen berechneten b_1, b_2, b_3 dürfen zur rechnerischen Vereinfachung mit einem beliebigen Faktor multipliziert werden.

Beispiel :

Die lineare Diskriminanzanalyse sei hier am Beispiel des Untersuchungsbestandes I Luftbild Nr. 089 verfolgt.

Gefragt wird, ob sich die Gesamtheit A = lebende Bäume von der Gesamtheit B = tote Bäume trennen läßt.

A besteht aus $n=47$ Bäume

B besteht aus $n=17$ Bäume

Merkmale (densitometrisch je Baum gemessen)

$$x_1^A = r \text{ (rot)-Anteil (aus Tab. 10, S. 63 Sp. 8)}$$

$$x_2^A = g \text{ (grün)-Anteil (aus Tab. 10, S. 63 Sp. 9)}$$

$$x_3^A = b \text{ (blau)-Anteil (aus Tab. 10, S. 63 Sp. 10)}$$

$$x_1^B = r \text{ (rot)-Anteil (aus Tab. 12, S. 67 Sp. 8)}$$

$$x_2^B = g \text{ (grün)-Anteil (aus Tab. 12, S. 67 Sp. 9)}$$

$$x_3^B = b \text{ (blau)-Anteil (aus Tab. 12, S. 67 Sp. 10)}$$

In Abb. 33 sind die densitometrischen Meßergebnisse für drei Merkmale in beiden Gesamtheiten dargestellt. Die Verteilung der Meßwerte von Merkmal x_1^A und x_1^B überschneiden sich sehr wenig, nur 2 mal beim Meßwert 0,48, im Merkmal x_2^A , x_2^B und x_3^A , x_3^B schneiden sie sich in zwei Meßbereichen.

Um aus den gegebenen Daten die für die Diskriminanzanalyse benötigten Korrelationskoeffizienten r_{12} , r_{13} und r_{23} zu ermitteln, werden zuerst die Größen q_{ii} und q_{ij} berechnet.

Für diese Berechnungen sind zuerst von allen x -Merkmalen das arithmetische Mittel $\bar{x}$ und die Summe der Quadrate der Abweichungen vom arithmetischen Mittel SQ berechnet und wie in den Tabellen 19-24 tabellarisch dargestellt. (nach M. PRODAN 1961, S. 52, Übersicht 27). Zur Erleichterung des Verständnisses der Rechenbeispiele wird jeweils der Bezug zur Herkunft der Daten aus den verschiedenen Tabellen angeführt.

X_1^A r (rot)-Anteil lebender Bäume

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
X_1	n_i	X'_i	$n_i X'_i$	$n_i (X_1 - \bar{X})$	$n_i (X_1 - \bar{X})^2$	X_i	n_i	X'_i	$n_i X'_i$	$n_i (X_1 - \bar{X})$	$n_i (X_1 - \bar{X})^2$
0,480	3	-2	-6	$\sum = 1,1676$	$\sum = 0,0398$	0,340	1	-4	-4	$\sum = 0,483$	$\sum = 0,0221$
0,500	10	-1	-10			0,360	0	-3	0		
0,520	10	0	0			0,380	2	-2	-4		
0,540	11	1	11			0,400	2	-1	-2		
0,560	7	2	14			0,420	4	0	0		
0,580	6	3	18			0,440	4	1	4		
	$nA=47$		+17			0,460	2	2	4		
						0,480	2	3	6		
							$nB=17$		+4		
$\bar{X}_1^A = 0,5324$	Tab. 19										

Tab. 20

 X_2^A g (grün)-Anteil lebender Bäume

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
X_2	n_i	X'_i	$n_i X'_i$	$n_i (X_2 - \bar{X})$	$n_i (X_2 - \bar{X})^2$	X_i	n_i	X'_i	$n_i X'_i$	$n_i (X_2 - \bar{X})$	$n_i (X_2 - \bar{X})^2$
0,090	5	-1	-5	$\sum = 0,596$	$\sum = 0,01128$	0,130	3	-2	-6	$\sum = 0,28$	$\sum = 0,00717$
0,110	26	0	0			0,150	8	-1	-8		
0,130	12	1	12			0,170	4	0	0		
0,150	4	2	8			0,190	1	1	1		
	$nA=47$		+15			0,210	1	2	2		
							$nB=17$		-11		

Tab. 22

 $\bar{X}_2^B = 0,158$ X_3^A b (blau)-Anteil lebender Bäume

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
X_3	n_i	X'_i	$n_i X'_i$	$n_i (X_3 - \bar{X})$	$n_i (X_3 - \bar{X})^2$	X_i	n_i	X'_i	$n_i X'_i$	$n_i (X_3 - \bar{X})$	$n_i (X_3 - \bar{X})^2$
0,310	4	-2	-8	$\sum = 0,753$	$\sum = 0,0196$	0,370	3	-2	-6	$\sum = 0,465$	$\sum = 0,01906$
0,330	10	-1	-10			0,340	2	-1	-2		
0,350	16	0	0			0,410	6	0	0		
0,370	15	1	15			0,430	2	1	2		
0,390	2	2	4			0,450	2	2	4		
	$nA=47$		+1			0,470	1	3	3		
						0,490	1	4	4		
							$nB=17$		+5		
$\bar{X}_3^A = 0,351$	Tab. 23										

Tab. 24

 $\bar{X}_3^B = 0,414$

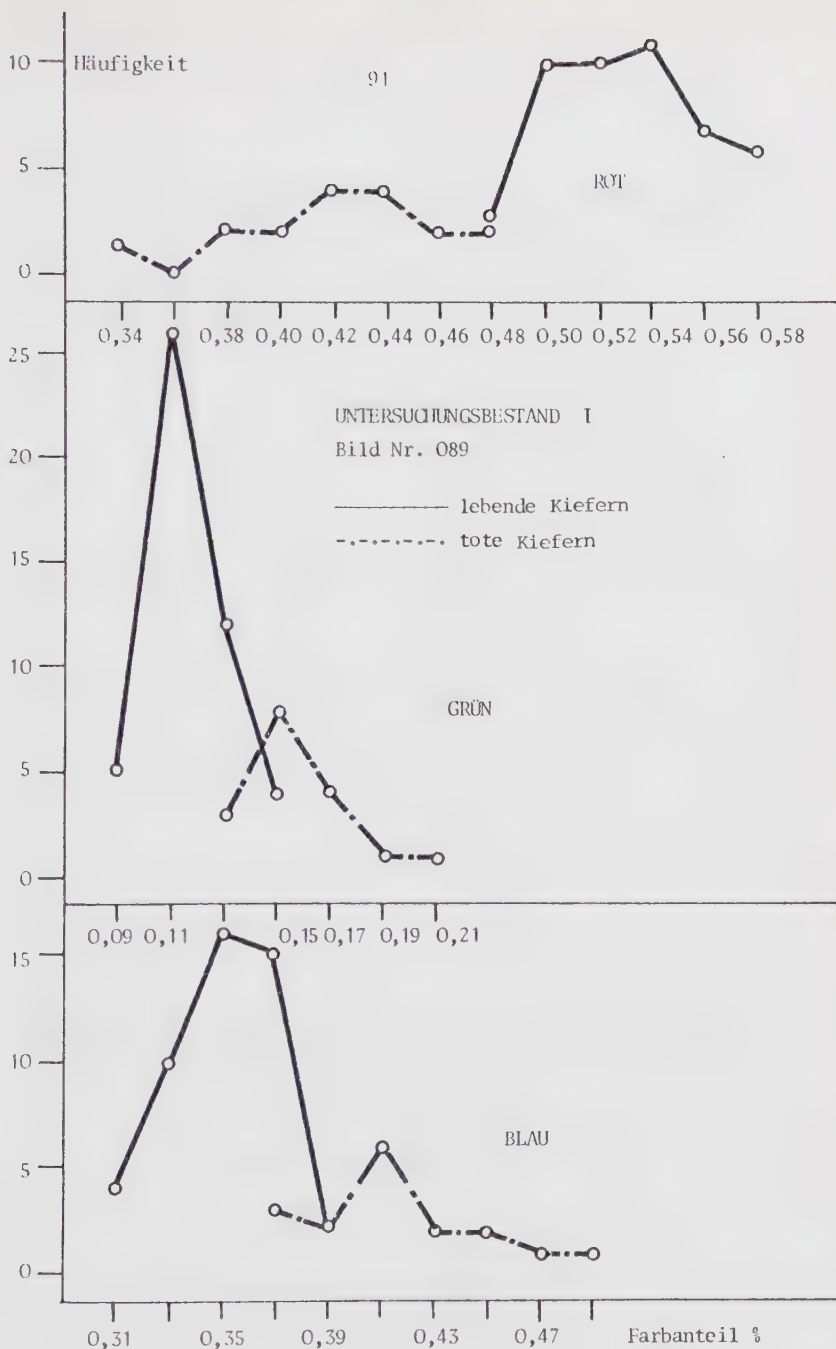


Abb. 33: Verteilung der Meßwerte der drei Merkmale "Rot" (x_1), "Grün" (x_2), "Blau" (x_3) in den beiden Gesamtheiten.

Die Berechnung der Größen q_{ii} und q_{ij} ergibt sich wie folgt:

$$S (x_1^A)^2 = 0,0396 \text{ aus Tab. 19, Sp. 6}$$

$$+S (x_1^B)^2 = +0,0221 \text{ aus Tab. 20, Sp. 6}$$

$$\sum_{k=A}^B S (x_1^k)^2 = 0,0619$$

$$\text{Korrekturglieder} = \frac{[S(x_1^A)]^2}{n^A} = \frac{(1,1676)^2}{47} \text{ aus Tab. 19, Sp. 5}$$

$$+ \frac{[S(x_1^B)]^2}{n^B} = + \frac{(0,483)^2}{17} \text{ aus Tab. 20, Sp. 5}$$

$$= 0,0427$$

$$q_{11} = 0,0619 - 0,0427 = 0,0192$$

$$\sqrt{q_{11}} = 0,1386$$

$$S \bar{x}_1^A \cdot \bar{x}_2^A = 2,9162 \text{ aus Tab. 10 Summe der Sp. 8 x Sp. 9}$$

$$+S \bar{x}_1^B \cdot \bar{x}_2^B = +1,147 \text{ aus Tab. 12 Summe der Sp. 8 x Sp. 9}$$

$$= 4,0632$$

$$n_A \cdot \bar{\bar{x}}_1^A \cdot \bar{\bar{x}}_2^A = 2,9176 \text{ aus Tab. 19 und Tab. 21}$$

$$+n_B \cdot \bar{\bar{x}}_1^B \cdot \bar{\bar{x}}_2^B = +1,136 \text{ aus Tab. 20 und Tab. 22}$$

$$= 4,0536$$

$$q_{12} = 4,0632 - 4,0536 = 0,0096$$

Auf diese Weise werden dann auch die anderen q_{ii} und q_{ij} berechnet.

$$q_{22} = 0,00628 \quad \sqrt{q_{22}} = 0,0792 \quad q_{13} = -0,0681$$

$$q_{33} = 0,01388 \quad \sqrt{q_{33}} = 0,1178 \quad q_{23} = 0,0115$$

$$r_{12} = \frac{q_{12}}{\sqrt{q_{11}} \cdot q_{22}} = \frac{0,0096}{\sqrt{0,0192} \times 0,00628} = 0,8743$$

$$r_{13} = \frac{q_{13}}{\sqrt{q_{11}} \cdot q_{33}} = \frac{-0,0681}{\sqrt{0,0192} \times 0,01389} = -4,1702$$

$$r_{23} = \frac{q_{23}}{\sqrt{q_{22}} \cdot q_{33}} = \frac{0,0115}{\sqrt{0,00628} \times 0,01389} = 1,2314$$

Das Gleichungssystem zur Berechnung der b_i lautet:

$$b'_1 + 0,8743 \cdot b'_2 - 4,1702 \cdot b'_3 = d'_1$$

$$0,8743 b'_1 + b'_2 + 1,2314 \cdot b'_3 = d'_2$$

$$-4,1702 b'_1 + 1,2314 \cdot b'_2 + b'_3 = d'_3$$

d'_1 , d'_2 und d'_3 werden - abweichend von E. WEBERS Beispielrechnung (1964, S. 445) - aus den leicht zugänglichen und schon vorhandenen Werten d_1 , d_2 , d_3 und q_{11} , q_{22} , q_{33} abgeleitet.

$$d_1 = \bar{x}_1^A - \bar{x}_1^B = 0,5324 - 0,423 = 0,1094$$

$$d_2 = \bar{x}_2^A - \bar{x}_2^B = 0,1166 - 0,158 = -0,0414$$

$$d_3 = \bar{x}_3^A - \bar{x}_3^B = 0,351 - 0,419 = -0,0680$$

$$d'_1 = \frac{d_1}{\sqrt{q_{11}}} = \frac{0,1094}{0,1386} = 0,7893$$

$$d'_2 = \frac{d_2}{\sqrt{q_{22}}} = \frac{-0,0414}{0,0792} = -0,5227$$

$$d'_3 = \frac{d_3}{\sqrt{q_{33}}} = \frac{-0,068}{0,1178} = -0,5772$$

Setzt man diese d'_i - Werte in die o.a. Formel ein, so ergibt sich:

$$0,7893 = b'_1 + 0,8743 \cdot b'_2 - 4,1702 \cdot b'_3$$

$$-0,5227 = 0,8743 \cdot b'_1 + b'_2 + 1,2314 \cdot b'_3$$

$$-0,5772 = 4,1702 \cdot b'_1 + 1,2314 \cdot b'_2 + b'_3$$

und schließlich für

$$b'_1 = 0,0103$$

$$b'_2 = -0,2432$$

$$b'_3 = -0,2378$$

Prüfung auf Richtigkeit der Rechnung

$$\begin{aligned} 0,7893 &= 0,0103 - 0,8743 \cdot 0,2432 + 4,1702 \cdot 0,2378 \\ -0,5227 &= 0,0103 \cdot 0,8743 - 0,2432 - 1,2314 \cdot 0,2378 \\ -0,5772 &= 0,0103 \cdot 4,1702 - 1,2314 \cdot 0,2432 - 0,2378 \end{aligned}$$

Damit ergeben sich die b_i' zu:

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{b_1'}{\sqrt{q_{11}}} = \frac{0,0103}{0,1386} = 0,0743 \\ b_2 &= \frac{b_2'}{\sqrt{q_{22}}} = \frac{-0,2432}{0,0792} = -3,0707 \\ b_3 &= \frac{b_3'}{\sqrt{q_{33}}} = \frac{-2,01867}{0,1178} = -2,01867 \end{aligned}$$

Die gesuchte Diskriminanzfunktion lautet damit

$$X = 0,0743 \cdot x_1 - 3,0707 \cdot x_2 - 2,01867 \cdot x_3$$

Wird zur rechnerischen Vereinfachung $b_1 = 0,1$ angenommen so erhält man

$$X = 0,1 \cdot x_1 - 4,133 \cdot x_2 - 2,717 \cdot x_3$$

Setzt man in diese Funktion die Farbanteile je Untersuchungsbaum in den Tab. 14, 15 und 16, 17 ein, ergeben sich die X^A -Werte in Tab. 14, 15, Sp. 11 und die X^B -Werte in Tab. 16, 17, Sp. 11. Diese Ergebnisse wurden zu Klassen zusammengefaßt und sind in Abb. 34 und Tab. 25 dargestellt.

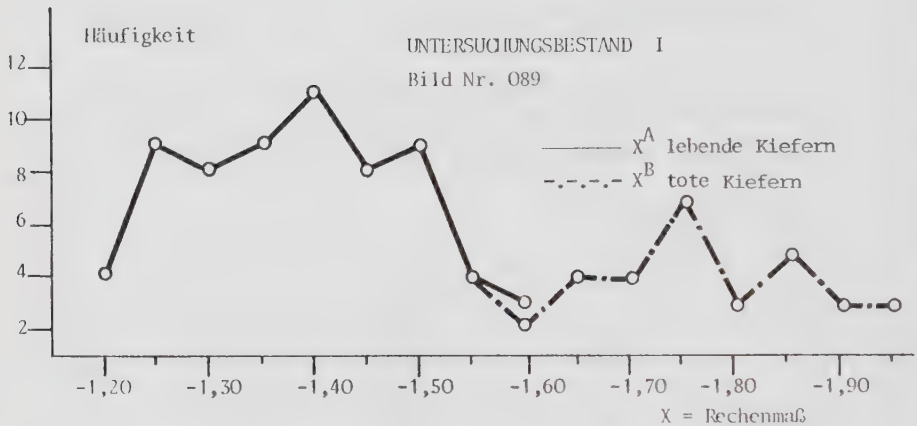


Abb. 34 Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten

Rechenmaß X		Häufigkeit X^A (lebende Kiefern)	Häufigkeit X^B (tote Kiefern)
Die Klassen	$\bar{x}_i$		
-1,175-1,225	-1,20	2	-
-1,225-1,275	-1,25	7	-
-1,275-1,325	-1,30	6	-
-1,325-1,375	-1,35	7	-
-1,375-1,425	-1,40	9	-
-1,425-1,475	-1,45	6	-
-1,475-1,525	-1,50	7	-
-1,525-1,575	-1,55	2	2
-1,575-1,625	-1,60	1	-
-1,625-1,675	-1,65	-	2
-1,675-1,725	-1,70	-	2
-1,725-1,775	-1,75	-	5
-1,775-1,825	-1,80	-	1
-1,825-1,875	-1,85	-	3
-1,875-1,925	-1,90	-	1
-1,925-1,975	-1,95	-	1
		$n^A=47$	$n^B=17$

Tab. 25: zeigt die Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten. Obwohl sich in den Klassen von -1,525 bis -1,625 Überschneidungen ergeben, kann man die Trennung der beiden Gesamtheiten als gut bezeichnen.

Das rechnerische Ergebnis dieser Diskriminanzanalyse bestätigt zudem die aus Abb. 28 bereits absehbare Trennmöglichkeit und den dort ebenfalls erkennbaren kleinen Überschneidungsbereich.

Die Ergebnisse der Diskriminanzanalyse für die anderen Luftbilder und Untersuchungsbestände - d.h. für Untersuchungsbestand I, Luftbild Nr. 090 und Untersuchungsbestand II, Luftbild Nr. 127, 128 - ergeben folgendes:

a) Untersuchungsbestand I

Luftbild Nr. 090

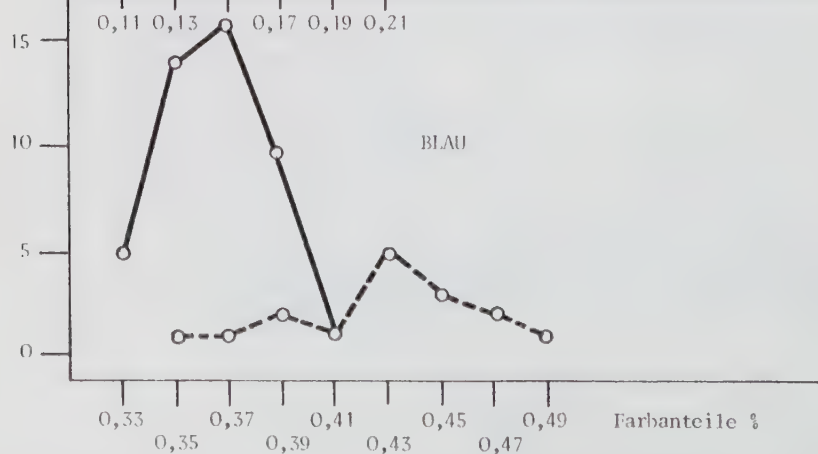
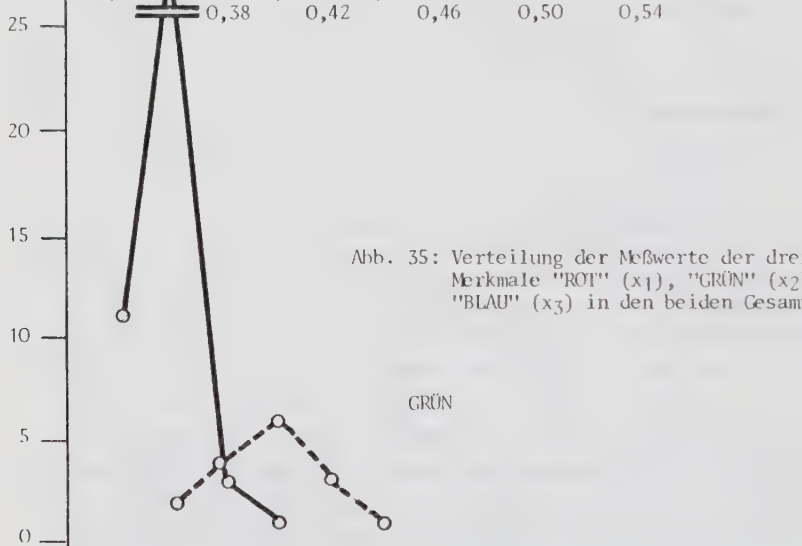
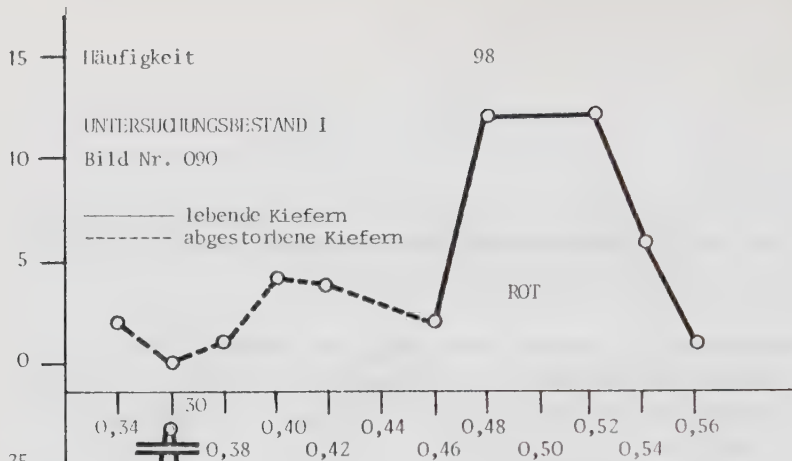
A = 45 lebende Kiefern

B = 16 abgestorbene Kiefern

$$\begin{array}{ll} \bar{x}_1^A = 0,506 & \bar{x}_1^B = 0,410 \\ \bar{x}_2^A = 0,129 & \bar{x}_2^B = 0,165 \\ \bar{x}_3^A = 0,365 & \bar{x}_3^B = 0,425 \end{array}$$

In Abb. 35 sind die densitometrischen Meßergebnisse für drei Merkmale in beiden Gesamtheiten dargestellt. Die Verteilungen der Merkmalswerte x_1^A und x_1^B überschneiden sich nur in einem Meßbereich. Die Merkmalswerte x_2^A , x_2^B und x_3^A , x_3^B überschneiden sich dagegen in der Breite von drei und vier Meßbereichen. Nach Berechnung der densitometrischen Messungen ergeben sich folgende d_i und b_i Werte

$$\begin{array}{ll} d_1 = 0,096 & b_1 = 0,09196 \\ d_2 = -0,036 & b_2 = -2,9362 \\ d_3 = -0,060 & b_3 = -0,814 \end{array}$$



Die gesuchte Diskriminanzfunktion lautet damit

$$X = 0,09196 \cdot x_1 - 2,9362 \cdot x_2 - 0,814 \cdot x_3$$

Wenn man für $b_1 = 0,1$ setzt, so erhält man

$$X = 0,1 \cdot x_1 - 4,133 \cdot x_2 - 2,717 \cdot x_3$$

In diese Funktion wurden wiederum die Meßwerte für die beiden Gesamtheiten A und B eingesetzt und die entsprechenden Rechenmaße X ermittelt.

Diese wurden zu Klassen zusammengefaßt (s. Tab. 26 und Abb. 36).

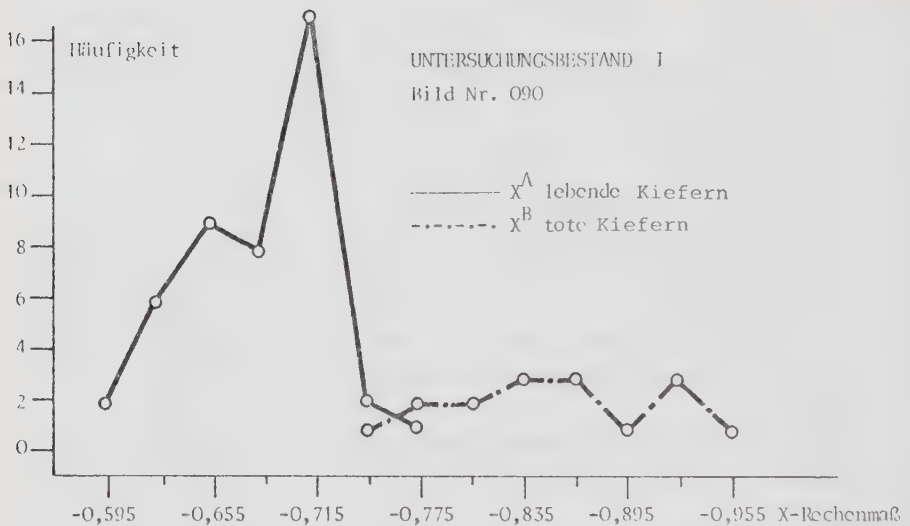


Abb. 36: Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten.

Rechenmaß X		Häufigkeit X^A (lebende Kiefern)	Häufigkeit X^B (tote Kiefern)
Die Klassen	$\bar{x}_i$		
-0,580-0,610	-0,595	2	-
-0,610-0,640	-0,625	6	-
-0,640-0,670	-0,655	9	-
-0,670-0,700	-0,685	8	-
-0,700-0,730	-0,715	17	-
-0,730-0,760	-0,745	2	1
-0,760-0,790	-0,775	1	2
-0,790-0,820	-0,805	-	2
-0,820-0,850	-0,835	-	3
-0,850-0,880	-0,865	-	5
-0,880-0,910	-0,895	-	1
-0,910-0,940	-0,925	-	3
-0,940-0,970	-0,955	-	1
		$n^A = 45$	$n^B = 16$

Tab. 26: zeigt die Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten. Obwohl sich in den Klassen von -0,730 bis -0,790 Überschneidungen ergeben, kann man die Trennung der beiden Gesamtheiten als gut bezeichnen. Das rechnerische Ergebnis dieser Diskriminanzanalyse bestätigt zudem die aus Abb. 36 bereits abschätzbare Trennmöglichkeit und den dort ebenfalls erkennbaren kleinen Überschneidungsbereich.

Die Prüfung auf Signifikanz zu diesem Ergebnis wird auf Seite 109, Tabelle 29 durchgeführt.

b) Untersuchungsbestand II

Luftbild Nr. 127

A = 26 lebende Kiefern

B = 8 abgestorbene Kiefern

$$\begin{array}{ll} \bar{x}_1^A = 0,722 & \bar{x}_1^B = 0,573 \\ \bar{x}_2^A = 0,083 & \bar{x}_2^B = 0,161 \\ \bar{x}_3^A = 0,195 & \bar{x}_3^B = 0,266 \end{array}$$

In Abb. 37 sind die densitometrischen Meßergebnisse für drei Merkmale in beiden Gesamtheiten dargestellt. Die Verteilung der Meßwerte der Merkmale x_1^A , x_1^B und x_2^A , x_2^B überschneiden sich in keinem Falle. Beim Merkmal x_3^A und x_3^B schneiden sie sich in einem Meßbereich. Nach Berechnung der densitometrischen Messungen ergeben sich folgende d_i - und b_i -Werte:

$$\begin{array}{ll} d_1 = 0,149 & b_1 = 2,4509 \\ d_2 = 0,078 & b_2 = -0,4734 \\ d_3 = 0,071 & b_3 = -15,066 \end{array}$$

Die gesuchte Diskriminanzfunktion lautet damit:

$$X = 2,4509 \cdot x_1 - 0,4734 \cdot x_2 - 15,066 \cdot x_3$$

Wenn man für $b_2 = 1$ setzt, so erhält man:

$$X = 1,933 \cdot x_1 - x_2 - 6,076 \cdot x_3$$

In dieser Funktion wurden wiederum die Meßwerte für die beiden Gesamtheiten A und B eingesetzt und die entsprechenden Rechenmaßwerte X ermittelt.

Diese wiederum wurden zu Klassen zusammengefaßt (s. Tab. 27 und Abb. 38).

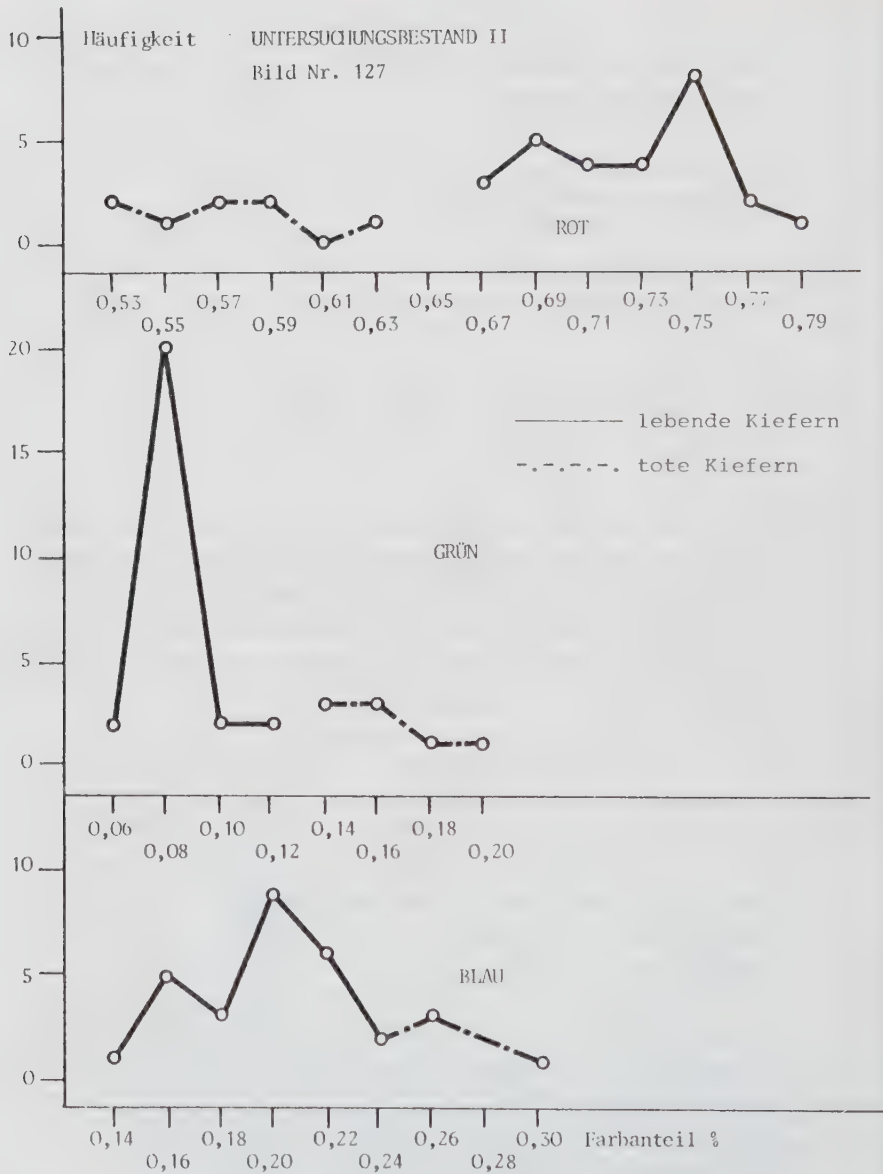


Abb. 37: Verteilung der Messwerte der drei Merkmale.

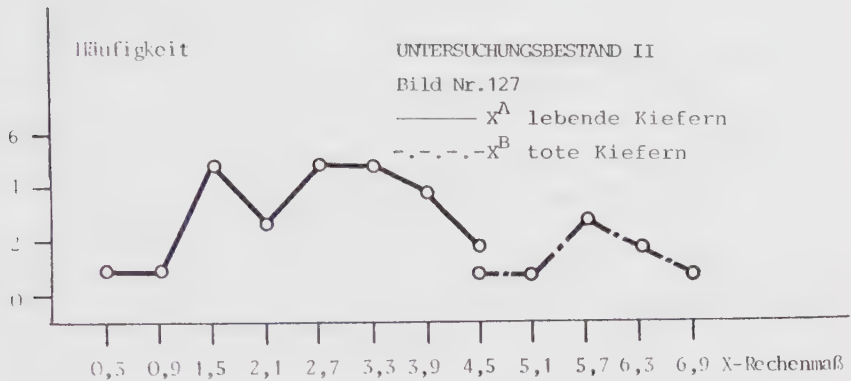


Abb. 38: Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten.

Rechenmaß x		Häufigkeit x^A (lebende Kiefern)	Häufigkeit x^B (tote Kiefern)
Die Klassen	$\bar{x}_i$		
0,00-0,60	0,30	1	-
0,60-1,20	0,90	1	-
1,20-1,80	1,50	5	-
1,80-2,40	2,10	3	-
2,40-3,00	2,70	5	-
3,00-3,60	3,30	5	-
3,60-4,20	3,90	4	-
4,20-4,80	4,50	2	1
4,80-5,40	5,10	-	1
5,40-6,00	5,70	-	3
6,00-6,60	6,30	-	2
6,60-7,20	6,90	-	1
		$n^A=26$	$n^B=8$

Tab. 27: zeigt die Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten. Sie überschneiden sich in der Klasse 4,20-4,80, aber man kann die Trennung als gut bezeichnen.

Die Prüfung auf Signifikanz zu diesem Ergebnis ist ebenfalls auf Seite 109 Tabelle 29 zu sehen.

c) Untersuchungsbestand II

Luftbild Nr. 128

A = 26 lebende Kiefern

B = 8 abgestorbene Kiefern

$$\begin{array}{ll}
 x_1^A = 0,792 & x_1^B = 0,621 \\
 x_2^A = 0,0685 & x_2^B = 0,153 \\
 x_3^A = 0,1395 & x_3^B = 0,226
 \end{array}$$

In Abb. 39 sind die densitometrischen Meßergebnisse für drei Merkmale in beiden Gesamtheiten dargestellt. Die Verteilung der Meßwerte der Merkmale x_1^A , x_1^B und x_2^A , x_2^B überschneiden sich in keinem Meßbereich. Im Merkmal x_3^A und x_3^B schneiden sie sich nur einmal.

Nach Berechnung der densitometrischen Messungen ergeben sich folgende d_i - und b_i -Werte:

$$\begin{array}{ll}
 d_1 = 0,171 & b_1 = 2,2561 \\
 d_2 = -0,0845 & b_2 = -1,1671 \\
 d_3 = -0,0865 & b_3 = -7,0913
 \end{array}$$

Die gesuchte Diskriminanzfunktion lautet damit

$$X = 2,2561 \cdot x_1 - 1,1671 \cdot x_2 - 7,0913 \cdot x_3$$

Wenn man für $b_2 = 1$ setzt, so erhält man

$$X = 5,177 \cdot x_1 - x_2 - 31,825 \cdot x_3$$

In dieser Funktion wurden nun die Meßwerte für die beiden Gesamtheiten A und B eingesetzt und die entsprechenden Rechenmaßwerte ermittelt.

Diese wiederum wurden zu Klassen zusammengefaßt (Tab. 28 und Abb. 40)

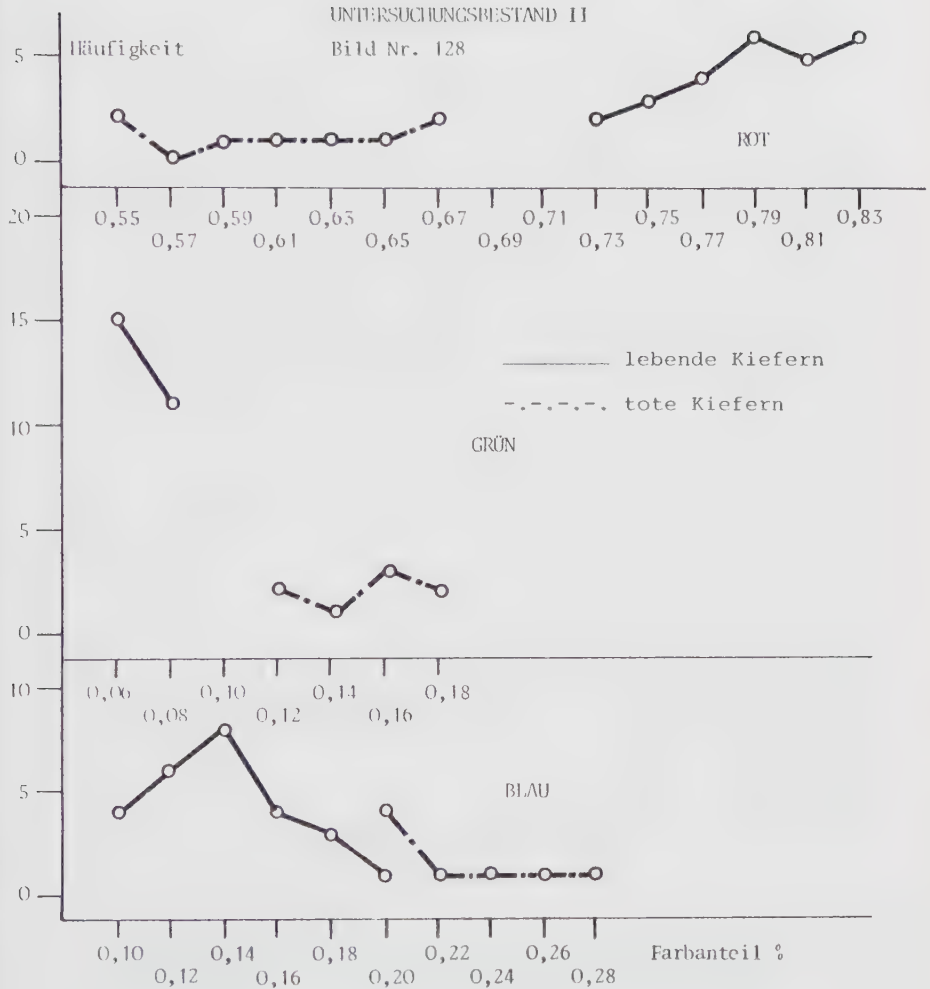


Abb. 59: Verteilung der Meßwerte der drei Merkmale.

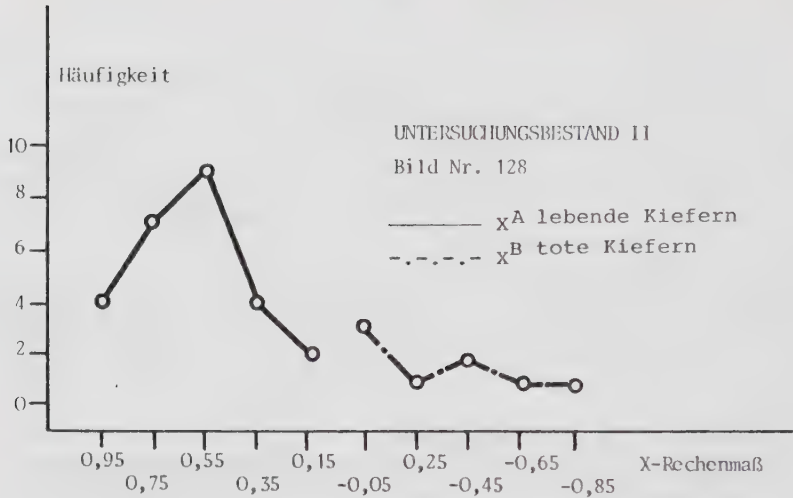


Abb. 40: Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten.

Rechenmaß X		Häufigkeit X^A	Häufigkeit X^B
Die Klassen	$\bar{x}_1$	(lebende Kiefern)	(tote Kiefern)
1,05-0,85	0,95	4	-
0,85-0,65	0,75	7	-
0,65-0,45	0,55	9	-
0,45-0,25	0,35	4	-
0,25-0,05	0,15	2	-
0,05-0,15	-0,05	-	3
-0,15-0,35	-0,25	-	1
-0,35-0,55	-0,45	-	2
-0,55-0,75	-0,65	-	1
-0,75-0,95	-0,85	-	1
		$n^A = 26$	$n^B = 8$

Tab. 28: zeigt die Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten. Sie überschneiden sich in keinem Falle. Die Trennung ist sehr gut.

Die Prüfung auf Signifikanz zu diesem Ergebnis wird wiederum auf Seite 109 Tabelle 29 durchgeführt

2.7.2. Signifikanzprüfung

Im vorstehenden Abschnitt wurden die Diskriminanzfunktionen für unsere Meßkollektive A und B jeweils für zwei Untersuchungsbestände in jeweils zwei verschiedenen Luftbildern abgeleitet.

Hier soll nun geprüft werden, ob die ermittelten linearen Diskriminanzfunktionen eine wirkliche gesicherte Trennung der Gesamtheiten bewirkt haben. Wiederum wird dabei E. WEBER im wesentlichen gefolgt.

Die Signifikanzprüfung erfolgt auf dem Wege einer Varianzanalyse.

E. WEBER zeigte, daß das im Zuge der Ableitung der Diskriminanzfunktion berechnete d die Summe der Varianz innerhalb der Gruppe ist.

"Die Varianz zwischen den Gruppen wird proportional d^2 sein" (E. WEBER 1964, S. 448)

$$d = b_1 \cdot d_1 + b_2 \cdot d_2 + b_3 \cdot d_3$$

worin

$$d_1 = \bar{x}_1^A - \bar{x}_1^B \quad d_2 = \bar{x}_2^A - \bar{x}_2^B \quad d_3 = \bar{x}_3^A - \bar{x}_3^B$$

Die Gesamtzahl der Beobachtungen ist $n^A + n^B = n$.

Ist wie im vorliegenden Fall n^A/n^B , so gilt für die Varianz zwischen der Gruppe

$$\frac{1}{\frac{n^A}{n} + \frac{n^B}{n}} [S(\bar{x}^A) - S(\bar{x}^B)]^2 = \frac{\frac{n^A}{n} \cdot \frac{n^B}{n}}{\frac{n^A}{n} + \frac{n^B}{n}} \cdot d^2$$

Tafel der Varianzanalyse:

Variabilität	SQ	FG
Zwischen den Gruppen	$\frac{\frac{n^A}{n} \cdot \frac{n^B}{n}}{\frac{n^A}{n} + \frac{n^B}{n}} \cdot d^2$	$\alpha + m - 2$
Innerhalb der Gruppen	d	$n - \alpha - m + 1$

m = Anzahl der Merkmale,

α = Die Zahl der Gesamtheiten

n = Anzahl aller Elemente in der Gesamtheit

B e i s p i e l :

Untersuchungsbestand I

Luftbild Nr. 089

$$m = 3$$

$$\alpha = 2$$

$$n = 64 \quad n = n^A + n^B \quad n^A = 47 \quad n^B = 17$$

$$d = b_1 \cdot d_1 + b_2 \cdot d_2 + b_3 \cdot d_3 = \text{Die Summe der Varianz innerhalb der Gruppen}$$

$$b_1 = 0,0743 \text{ (s. Seite 95)}, \quad d_1 = 0,1094 \text{ (s. Seite 94)}$$

$$b_2 = -3,0707 \text{ (s. Seite 95)}, \quad d_2 = -0,0414 \text{ (s. Seite 94)}$$

$$b_3 = -2,01867 \text{ (s. Seite 95)}, \quad d_3 = -0,068 \text{ (s. Seite 94)}$$

$$d = (0,1096 \cdot 0,0743) + ((-0,0414) \cdot (-3,0707)) + ((-0,068) \cdot (-2,01867))$$

$$d = 0,27253 = \text{Die Summe der Varianz innerhalb der Gruppen.}$$

$$\frac{n^A \cdot n^B}{n^A + n^B} \cdot d^2 = \text{Die Summe der Varianz zwischen den Gruppen}$$

Variabilität	SQ	FG	MQ	F
Zwischen den Gruppen	0,927215	3	0,30907	68,0771
Innerhalb der Gruppen	0,27253	60	0,00454	

$$F_{0,01} (3;60) = 4,13$$

Ergebnis: Es bestehen hochsignifikante Unterschiede zwischen den Gruppen A und B

Unter- suchungs- bestand	Luft- bild Nr.	Variabilität	SQ	FG	NQ	F	F _{0,01}	Ergebnis*
I	089	Zwischen den Gruppen	0,92215	3	0,30907	68,0771	(3:60)	+
		innerhalb der Gruppen	0,27255	60	0,00454		4,13	
	090	zwischen den Gruppen	0,515027	3	0,10500	36,6346	(3:58)	+
		innerhalb der Gruppen	0,16337	57	0,002866		4,16	
II	127	Zwischen den Gruppen	13,252	3	4,4173	90,0387	(3:30)	+
		innerhalb der Gruppen	1,4718	30	0,04906		4,51	
	128	zwischen den Gruppen	7,37277	3	2,45797	67,160	(3:30)	+
		innerhalb der Gruppen	1,0978	30	0,036593		4,51	

Tab. 29 zeigt die Ergebnisse der Varianzanalyse von allen untersuchten Beständen des Kapitels 2.

* signifikant = +

nicht signifikant = -

3. DIE FRAGE DER FESTSTELLUNG VON "KRANKEN" KIEFERN¹⁾

Wie im Kap. 1.1. bei der Fragestellung schon erwähnt wurde, sind manche Fragen bei der praktischen Schadinventur noch offen. (Siehe Seite 6 Punkt 1-6).

Die Charakterisierung des allgemeinen Waldzustandes (vgl. Punkt 1), die Erfassung der Mortalität (Punkt 2 und Kap. 2) sowie weiterhin auch die Feststellung nicht oder noch nicht letaler Schaderscheinungen (Seite 6 Punkt 3) lassen sich durch visuelle Interpretation von Infrarot-Farbluftbildern ohne Frage vornehmen.

Schon im Kap. 1.1. wurde bei der Beschreibung der allgemeinen Fragestellung ausgeführt, daß alle einschlägigen bisherigen Erfahrungen und Interpretationsarbeiten gezeigt haben, daß gerade in Kiefernbeständen die Abgrenzungen zwischen "noch gesunden" und "schon geschädigten" Bäumen bei visueller Interpretation auf Schwierigkeiten stößt. Hier setzen deshalb die Untersuchungen dieses Kapitels an: Es wird die Frage gestellt, ob mit Hilfe eines automatisch arbeitenden Farbmeßgerätes die Unterscheidung geschädigter Kiefern von gesunden oder noch gesunden möglich ist. Würde diese Frage durch die Untersuchung positiv beantwortet werden können, so würde dies für die Entwicklung automatisierter Verfahren zur objektiven und schnellen Luftbildinterpretation entsprechender Schäden oder Krankheiten einen wichtigen Schritt vorwärts bedeuten.

Bevor die hier durchgeführte Untersuchung im einzelnen beschrieben wird, ist eine kurze Erinnerung an einige der wesentlichsten Entwicklungen der letzten Jahre zweckmäßig.

1) Als "krank" werden in den immissionsbelasteten Untersuchungsbeständen jene Kiefern betrachtet, deren Nadelkleid offenkundige Verfärbungen oder deutlich schütterere Benadelung und in der Regel ungewöhnlich kurze Nadeln aufweisen oder bei denen anstelle regelmäßiger Benadelung verbuschte Kronen auftreten.

Waldkrankheiten können auf zwei verschiedene Ursachen zurückzuführen sein:

- a) Krankheiten bzw. Schädigungen durch biotische Faktoren.
(z.B. durch Tiere, Insekten, Pilze u.a.) und
- b) durch abiotische Faktoren (z.B. Feuer, Sturm, Frost, Industrieemissionen, Rauchschäden usw.)

Seit der Entwicklung des Luftbildes, besonders des IR-Farbluftbildes beschäftigen sich viele Luftbildinterpreten mit den durch diese Faktoren verursachten Krankheiten an Bäumen. Sie interessieren nicht nur die Möglichkeit der Feststellung sondern auch den Grad der Schädigung.

HELLER et al. konnte seit 1959 im Erkennen von durch verschiedene Faktoren verursachte Baumkrankheiten (Nadelfraß durch Insekten, Immisionsschäden durch verschiedene Emitenten) mit Hilfe der Normal- und IR-Farbluftbilder bei großräumigen Inventuren Erfolge verzeichnen. Die wichtigsten bis 1970 vorliegenden gesicherten Erfahrungen wurden von ihm für Nordamerika und von KENNEWEG für Europa in Beiträgen zum IUFRO-Kongreß 1971 zusammengefaßt. (HELLER 1971, KENNEWEG 1971). Eine Fortschreibung dieser Zusammenfassung findet sich im MANUAL OF REMOTE SENSING in den Kapiteln "Forest Lands" (THORLEY 1975). In diesem Zusammenhang mag auch auf die entsprechenden zusammenfassenden Darstellungen der Interpretierbarkeit landwirtschaftlicher Schäden verwiesen werden (V. MYERS 1975).

Für die folgenden Untersuchungen interessieren aus den vielen Einzelberichten über Schaduntersuchungen bzw. -inventuren besonders jene, die auf die Frage der Ansprache des Schadensgrades von Einzelbäumen eingehen.

Einige Beispiele:

WOLFF (1967) berichtet von einer Untersuchung mit dem russischen Spektrozonal-Farbluftfilm, bei der es sich um durch Lärchenwickler

und gleichzeitig durch Immissionen geschädigter Fichten handelt;"... Das Schadbild des Lärchenwicklerfraßes ist ... auf dem Spektrozonalen Luftbild zu erkennen...". Es bleibt also für die genannten Wuchsklassen die Möglichkeit, ungeschädigte, mittelstark geschädigte, extrem geschädigte und tote Fichtenkronen voneinander zu trennen". Jedoch ist es nicht möglich, "den Rauchschaden vom Wicklerschaden zu trennen. Nur durch logische Überlegungen kann die Wahrscheinlichkeit (der Schadenursache) ermittelt werden, ...".

Auch HILDEBRANDT-KENNEWEG 1968, KENNEWEG-KADRO 1970, KENNEWEG 1972, 1977) haben Arbeiten über die Feststellung von Krankheiten und Schädigungsraten bei Fichten, Kiefern und Straßenbäumen mit positivem Ergebnis veröffentlicht.

KENNEWEG (1972) unterteilte ein Testgebiet im Osterwald/Niedersachsen, bei dem es sich um rauchgeschädigte Fichten handelt, in 5 Schadklassen (s. Tab. 30).

Nr.	Schädigungsgrad	Merkmale bei terrestrischer Erfassung	Merkmale bei Luftbildinterpretation	Der Zuwachs wird durch d. Schädigung verringert um etwa: (Ertragstafel Wiedenmann, maß. Df.)
1	nicht geschädigt	keine Schädigungssymptome in nennenswerten Umfang	weniger als 10% d. Kronen wurden als geschädigt interpretiert	0
2	leichte Zuwachsschäden	an zahlreichen Bäumen sind Nadelverfärbungen oder -verluste festzustellen	10% bis etwa 30% (Ann. 101) wurden als geschädigt eingestuft	ca. 10%
3	mittlere Zuwachsschäden	sehr zahlreiche Bäume zeigen Nadelverfärbungen oder -verluste; einige Bäume sind zopftrocken	etwa 30% (101) bis 50% wurden als geschädigt eingestuft	ca. 30%
4	schwere Zuwachsschäden	fast alle Bäume zeigen Nadelverfärbungen oder -verluste und sind zopftrocken oder haben nur teilweise begrünte Kronen	mehr als 50% bis zu 90% Kronen werden als geschädigt eingestuft	ca. 50%
5	Sterbeflächen Verlichtungsflächen	zahlreiche Bäume sind durch wiederholte Nadelverluste abgestorben oder im Begriff abzusterben	mehr als 90% der Kronen wurden als geschädigt eingestuft; mehr als 10% sind bereits abgestorben	mehr als 50%; Zerstörung d. Bestandesgefüges

Tab. 30: (Aus KENNEWEG 1972, S. 198).

Mehrfach veröffentlicht ist auch der von KENNEWEG ermittelte Interpretationsschlüssel für die Einordnung geschädigter Fichtenkronen in bestimmte Schädigungsklassen im IR-Farbluftbild. (S. Abb. 41 aus KENNEWEG's Diss. 1972, S. 143)

		dunkler			
hell	ältere Nadel-jahrgänge	äußerlich gesund u. vital (mindestens 5 vollständige Nadeljge.)	leichte bis mäß. Schädigung (fehlen von Nadeln bzw. Nadeln-jahrgängen)	schwere Schädigung (Kronenlinie als schütter, fehlen von Nadeln und Nadeljahrgängen)	fehlend (Kronenlinie im oberen Kronenteil unbearbeitet)
	etwa 1-2 Nadel-jahrgänge	äußerlich gesund und vital	rot • I	purpurrot •	dunkelpurpur • II
dunkler	leicht bis mäßig geschädigt (verfärbt bzw. fehlend)	gelbrot •	purpur •	purpurbraun •	purpurgrau-braun •
	schwer geschädigt (Nadeln überwiegend verfärbt bzw. fehlend)	orange • III	purpurrosa •	grau Braun •	schiefergrau • IV
	abgestorben (total verfärbt oder fehlend)	orangebraun • gelb, rosagrau •	lilarosa • hellgrau(gelb) •	grüngrau •	grün, blau • V

Abb. 41: "Interpretationsschlüssel" für die Einordnung geschädigter Fichtenkronen in bestimmte Schädigungsklassen im Infrarot-Farbluftbild (Ektachrome Infrared, Type 8443)". (aus KENNEWEG, Diss. 1972)

Schließlich wird noch auf den vereinfachten Interpretationsschlüssel, den HILDEBRANDT-CAGIRICI (1975) für zwei Schadinventuren in einem Kieferngebiet entwickelten, hingewiesen (s. Tab. 31).

	Laubbäume			Nadelbäume (Kiefer)		
	gesund	schwach	tot	gesund	schwach	tot
Frühjahrsbe- fliegung 5.6.1974	rot bis d'rot	marmoriert d'rot	weißl. h'blau	braun d'braun	braun ausblei- chend	blau/grün weißl. grauhl.
Sommerbe- fliegung 30.8.1974	rot bis d'rot	marmoriert d'rot	weißl. h'blau	purpur	h'purpur	blau/grau weißl. grauhl.

Tab. 31: Vereinfachte Zusammenfassung des Interpretationsschlüssels
(aus Gutachten HILDEBRANDT-CAGIRICI 1975)

Hier zeigte es sich deutlich, daß trotz guter Bildqualität einer weitgehenden Klassifizierung bei den Kiefern durch die visuelle Interpretation Grenzen gesetzt sind. Von Interesse ist dabei auch, daß zur gleichen "Zustandsklasse" in den beiden Bildserien (Frühjahr 5.6.74 und Sommer 30.8.74) z.T. unterschiedliche Farbwerte bzw. Farberscheinungen zugeordnet werden mußten. Dies weist sehr nachdrücklich daraufhin, daß auch bei anderen veröffentlichten Interpretationsschlüsseln, die auf Farbwerten, Farben usw. aufbauen (z.B. die o.a. Beispiele von KENNEWEG), eine Verallgemeinerung nicht zulässig ist. Es gilt, für jedes gegebene Bildmaterial und die zu interpretierenden Schäden einen spezifischen Farbschlüssel zu erarbeiten. (Vgl. hierzu auch die Ausführungen im Kapitel 3.1. dieser Arbeit).

Abschließend zu diesem Problemkreis noch das folgende Zitat aus einem Vortrag, der die Summe der gegenwärtigen Erfahrungen auf diesem Gebiet zieht: "Die Interpretationserfolge sind insgesamt gut. Mortalität läßt sich in mittelmaßstäblichen Bildern baumweise, in kleinmaßstäblichen Bildern bei gruppenweisem Auftreten fast vollständig

erfassen. Lediglich unterständige Räume entziehen sich der Erkennung. Verschiedene Grade der Vitalität bzw. des Schadens sind unter bestimmten Umständen zu erkennen... Der richtigen Wahl von Aufnahmezeit und Maßstab kommt dabei große Bedeutung zu... Schwierigkeiten ergeben sich insbesondere beim Infrarot-Farbfilm zur Zeit noch aus den unterschiedlichen Farbwerten des entwickelten Bildes, die durch Veränderungen der Sensibilität der Emulsionen und aufgrund unterschiedlicher Aufnahmebedingungen oder auch Entwicklungsprozesse auftreten...

Der Weg zu einer objektiven Farb- bzw. Dichtemessung im Diapositiv ist problematisch. Die Zuordnung von Schadklassen zu bestimmten Farben im Diapositiv wie auch von Schädigungssymptomen zu den Farben lassen sich - leider - nicht verallgemeinern oder absolut definieren. Sie gelten im Bildmittelteil für den speziellen Schadensfall in Verbindung mit den vorgegebenen Aufnahmebedingungen (Tages- und Jahreszeit der Aufnahme, Beleuchtung des Objektes, atmosphärische Bedingungen, Maßstab, Zustand der Filmemulsion usw.). Diese Einschränkungen sind gleichzeitig auch die Erschwerungsgründe für die dringend erwünschte digitale, durch Farbmessungen objektivierbare Auswertung beziehungsweise für elektronische oder photochemische, analoge Bildauswertungsverfahren, gleich welcher Art dabei die Herausfilterung gleicher Farben und deren Wiedergabe vorgenommen wird." HILDEBRANDT 1977. Aus dem Vortrag "Die Bedeutung der Fernerkundung für Forstwirtschaft und Forstwissenschaft" anlässlich der Photogrammetrischen Woche 1977 in Stuttgart.

3.1. Auswahl und Charakter der Untersuchungsbestände

Für die in diesem Kapitel beschriebenen Untersuchungen wurden wiederum zwei Untersuchungsbestände ausgewählt, die sich im gleichen Untersuchungsgebiet wie Untersuchungsbestand I und II nördlich der Voerde und Bruchhausen befinden. In beiden Fällen handelt es sich

um ca. 70 jährige Kiefernbestände. Grundlage der Untersuchungen war wiederum das im Kap. 1.2. beschriebene Luftbildmaterial.

Die Kriterien zur Auswahl der zu untersuchenden Bestände entsprechen denen des Kapitels 2.1. mit der Unterscheidung, daß sich hier in den Beständen mehrere kranke Kiefern (anstelle von toten) befinden sollten.

In den für diese Untersuchung verwendeten Luftbildern (s. Kap. 1.2.) wechselte die Farbe der Bäume von einem rot-braun bei den gesunden zu einem strahlenden violett bei geschädigten bis zu weißblau, blau, grün, hellgrau und grau bei toten Bäumen.

Es wird hier an die Ausführungen auf Seite 114 erinnert: die Abbildungsfarbe eines speziellen Objekts auf dem IR-Farbluftbild (und auch auf einem normalen Farbbild) kann in Abhängigkeit von Aufnahme- und Prozeßbedingungen variieren. Da im Zeitraum der Arbeit an dieser Untersuchung zu vier verschiedenen Zeiten Luftbildaufnahmen mit dem gleichen Filmmaterial (Kodak Aerochrome Infra 2443) durchgeführt wurden, ergeben sich dazu Vergleichsmöglichkeiten. Die vier Aufnahmen erfolgten am 4.6.1974, am 30.8.1974, am 15.8.1976 und am 15.6.1977. Es zeigte sich, daß auf beiden Augustbefliegungen die visuelle Luftbildinterpretation zwischen gesunden, kränkelnden und toten Kiefern gut möglich war, während die beiden Junibefliegungen Bilder brachten, in denen mit Sicherheit nur die toten Bäume von den noch lebenden getrennt werden konnten. Zwischen den gesunden und den kranken Kiefern konnte dagegen auf den Junibildern keine sichere Unterscheidung vorgenommen werden. Es liegt nahe - wurde hier jedoch nicht untersucht - diese vergleichenden Interpretationsergebnisse mit phänologischen Erscheinungen zu erklären.

Nach diesen Kriterien wurden folgende Untersuchungsbestände ausgewählt:

Untersuchungsbestand III Luftbild Nr. 214-215 (s. Abb. 42)

Untersuchungsbestand IV Luftbild Nr. 226-227 (s. Abb. 43)

Der Untersuchungsbestand IV war dabei im Bild Nr. 227 im mittleren Bildteil und im Bild Nr. 226 in Bildrandlage (s. Abb. 44) abgebildet. Ihre Geländelage und allgemeine Verfassung sind in den Abbildungen 45 und 46 zu ersehen.

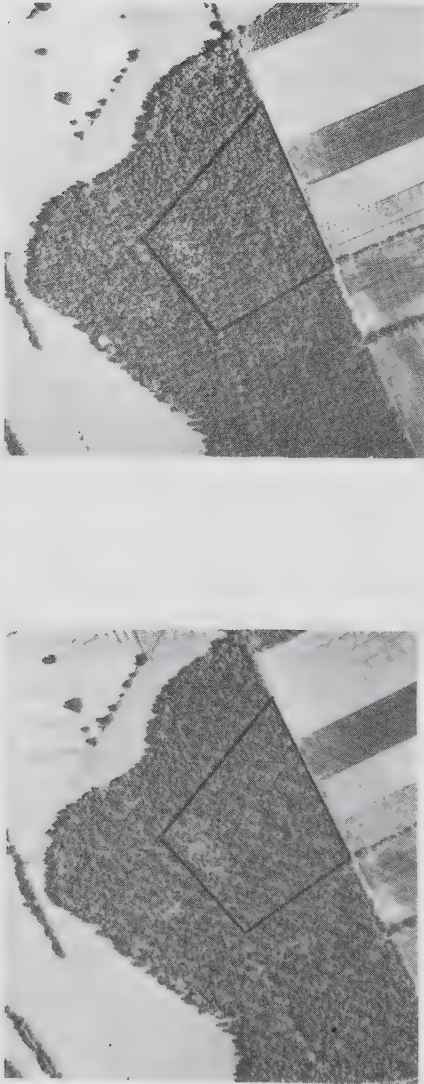


Abb. 42: Untersuchungsbestand III, Luftbild Nr. 214 (links), 215 (rechts)
Freigegeben durch den Regierungspräsidenten in Münster/W unter der
Nr. 1888/74
(Im Original IRC-Diafilm Kodak Aerochrome Infra 2443).



Abb. 43: Untersuchungsbestand IV, Luftbild Nr. 227 (links), 226 (rechts)
 Freigegeben durch den Regierungspräsidenten in Münster/W unter der Nr. 1868/74
 (Im Original IRC-Diafilm Kodak Aerochrome Infra 2443).

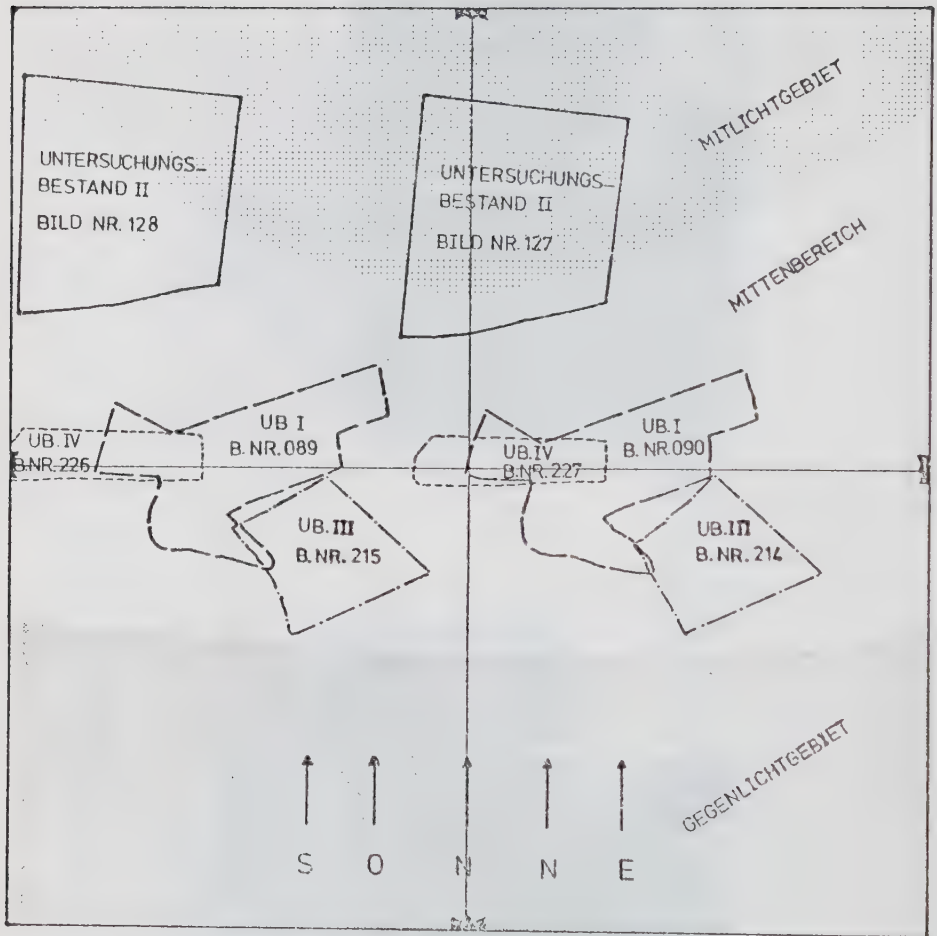


Abb. 44: Bildortlage aller Untersuchungsbestände in den jeweiligen Luftbildern (verkleinerte Darstellung). Die Abgrenzung des Gegenlicht- und des Mitlichtgebietes gegenüber dem Mittenbereich erfolgte in Anlehnung an MEIENBERG (1966).

3.2. Vorarbeiten im Institut

Mit Hilfe der Luftbilder und eines Tageslichtprojektors wurden ähnlich wie schon im Kapitel 2 beschrieben, wiederum "Luftbildaufzeichnungspläne" in Form einer Kronenprojektionskarte hergestellt. Eingezeichnet wurden die im Luftbild bei monokularer Beobachtung erkennbaren Projektionen aller Bäume des jeweiligen Untersuchungsbestandes. Dabei wurden zwei "Luftbildaufzeichnungspläne" hergestellt:

Untersuchungsbestand Nr.	Luftbild Nr.	Maßstab des Luftbildes	Maßstab des Luftbildaufzeichnungsplanes	Abb.Nr.
III	215	ca. 1 : 5000	1 : 758	44
IV	227	ca. 1 : 5000	1 : 758	45

Daraufhin wurden in einem zweiten Arbeitsgang die Luftbilder unter dem Spiegelstereoskop interpretiert. Krone um Krone wurde nach ihrer Baumart angesprochen. Bei den Kiefern (mehr als 85% aller Bäume des Untersuchungsbestandes III und mehr als 90% aller Bäume des Untersuchungsbestandes IV) erfolgte zusätzlich die für diese Untersuchung entscheidende Ansprache, ob es sich um die Krone einer gesunden, kranken oder toten Kiefer handelte. Alle als krank angesprochenen Kiefern wurden mit einem schwarzen Tuschefpunkt im Luftbilddiapositiv markiert. Für die weitere Untersuchung wurden sowohl die Laubbäume als auch die toten Kiefern in den Untersuchungsbeständen ausgeschieden. Ihre Kartierung im Luftbildaufzeichnungsplan war jedoch notwendig zur späteren Orientierung im Gelände, ins besondere, um die Zuordnung der zu untersuchenden Bäume im Bestand und im Luftbild vornehmen zu können.

Das Ergebnis der Interpretation wurde in dem Aufzeichnungsplan für jede angesprochene Krone eingetragen. Die Eintragungen dienten dazu,

- 1) um gezielt Bäume im Gelände aufzusuchen,
- 2) um damit eine Überprüfung vornehmen zu können, ob die durch

visuelle Luftbildinterpretation als krank angesprochenen Bäume tatsächlich krank waren bzw. mit welcher Zuverlässigkeit diese Interpretation erfolgte.

Da die folgenden densitometrischen Messungen mit einem Gerät durchzuführen waren, dessen kleinste Blende 0,5 mm im Durchmesser betrug, war eine weitere Auswahl der Untersuchungsbäume erforderlich. Mittels einer transparenten Kreisschablone wurden alle die Kiefernkronen herausgesucht, deren Kronendurchmesser im gegebenen Luftbild gleich oder größer 0,5 mm war. Diese Prozedur erfolgte auf den Luftbildaufzeichnungsplänen. (Hierzu vgl. Kapitel 2.5.2.).

Diese Vorarbeiten waren notwendig und Voraussetzung für die gezielte Auswahl der terrestrisch zu kontrollierenden und später densitometrisch zu messenden Bäume.

Nach diesen Vorarbeiten standen

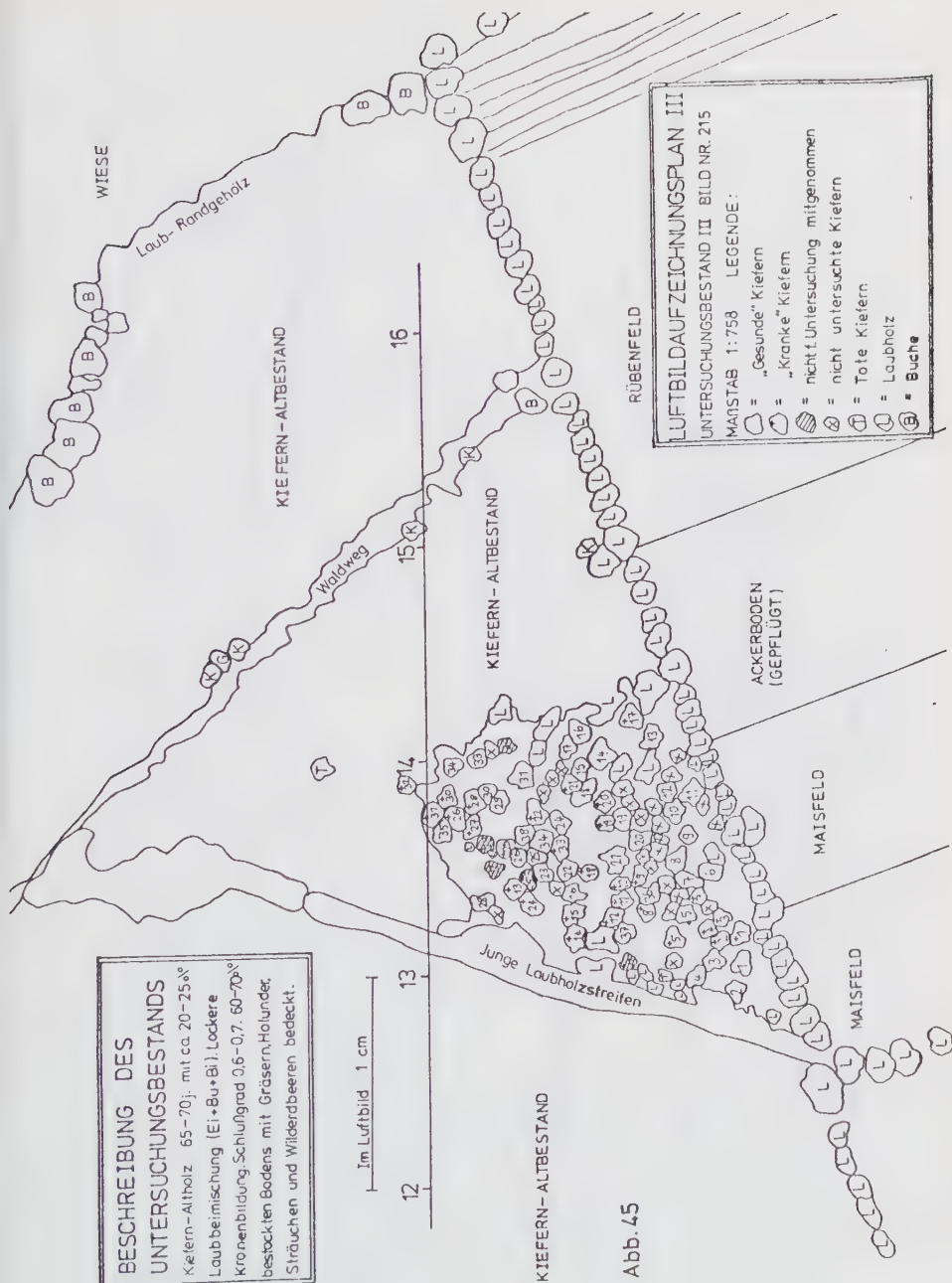
im Untersuchungsbestand III 38 gesunde und 33 kranke Kiefern,

im Untersuchungsbestand IV 36 gesunde und 30 kranke Kiefern

für die weiteren Untersuchungen zur Verfügung. In den Luftbildaufzeichnungsplänen wurde für jeden dieser Untersuchungsbäume eine fortlaufende Nummer für die als gesund und die als krank interpretierten, eingetragen.

Untersuchungsbestand III	gesunde lfd. Nr. 1-38
	kranke lfd. Nr. 1 ⁺ -33 ⁺

Untersuchungsbestand IV	gesunde lfd. Nr. 1-36
	kranke lfd. Nr. 1 ⁺ -30 ⁺



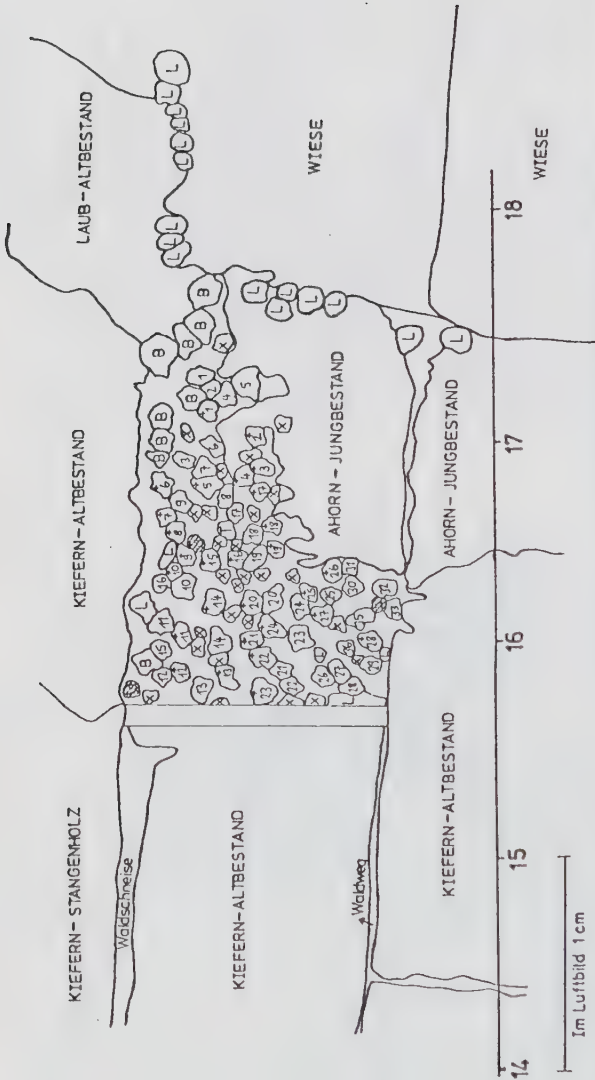


Abb. 46

BESCHREIBUNG

DES UNTERSUCHUNGSBESTANDS

Kiefern - Altholz 65-70 j. mit ca. 40 %
 z.T. unterständigem Laubholz (Bt+Bu+El)
 Lockere Kronenbildung, Schluffgrad 0,5-0,6
 Vollständiger Bodenbewuchs mit Halmdorn,
 Gräsern und Farnen bedeckt.

LUFTBILDAUFZEICHNUNGSPLAN IV

UNTERSUCHUNGSBESTAND IV BILD NR. 227

MAßSTAB 1:750

LEGENDE:

- = „Gesunde“ Kiefern
 ⊙ = „Kranke“ Kiefern
 ⊗ = nicht t. Untersuchung mitgenommen
 ⊕ = nicht untersuchte Kiefern
 ⊖ = Tote Kiefern
 L = Laubholz
 B = Buche

3.3. Terrestrische Arbeit im Gelände

Die terrestrischen Arbeiten wurden im Oktober 1975, mehr als ein Jahr später als die Aufnahmezeit (Ende August 1974), durchgeführt und erfüllten folgenden Zweck:

Es wurden zuerst die kranken und gesunden Bäume, die im Luftbildaufzeichnungsplan entsprechend markiert waren, aufgesucht und der Reihe nach geprüft, ob sie, wie in der Luftbildinterpretation angesprochen, tatsächlich krank oder gesund und im Bestand noch vorhanden waren.

Bei dieser Tätigkeit wurden die Kronen der Untersuchungsbäume, im Gegensatz zu der im Kap. 2.3. (s. Seite 25) vorgenommenen Einteilung, nur zwei Kategorien zugeordnet:

- a) terrestrisch als gesund erkannte Bäume,
- b) die irgend ein Schadsymptom aufweisenden Kiefern.

Diese Einteilung in gesund und krank muß als eine relative angesehen werden, da bei den im ganzen Untersuchungsgebiet vorkommenden schlechten Pflegezustand, Wuchsbedingungen und den latenden Rauchschäden keine optimalen gesunden Kronen zu erkennen waren. Man muß davon ausgehen, daß die bei der terrestrischen Aufnahme als gesund angesprochenen Bäume nur die unter den gegebenen Umständen gesündesten (s. Abb. 47) oder besser noch die am wenigsten geschädigten des Untersuchungskollektivs waren. Eine klare, eindeutige Abgrenzung zwischen absolut gesunden und kranken war daher nicht möglich. Es wurde versucht die Abgrenzung über die folgenden Merkmale des Kronenzustandes vorzunehmen:

- a) mit normallangen Nadeln, verkürzter und verbuster Krone (s. Abb. 47)
- b) mit nur letztjährigen und kurzen Nadeln und sehr lockerer Krone (s. Abb. 48).
- c) mit mindestens zwei Nadeljahrgängen, normaler Nadellänge und normaler geschlossener Kronenbildung (s. Abb. 49).

Kiefern mit den Merkmalen von a) und b) wurden als krank, mit den Merkmalen von c) als gesund bezeichnet.

Abb. 47: Kranke Kiefer
(verkürzte und ver-
buschte Kronenbildung).



Abb. 48: Kranke Kiefer
(nur noch mit kurzen,
letztjährigen Nadeln und
lockere Kronenbildung).



Abb. 49: Gesunde Kiefern
(Normale Nadellänge und
geschlossene Kronenbil-
dung, im Original IR-Farb-
photo).

In der Zeit zwischen Luftbildaufnahme und terrestrischen Untersuchungen waren einige der im Luftbild ausgesuchten und interpretierten Untersuchungsbäume durch Windwurf ausgefallen bzw. durch Abbruch von Kronenteilen verändert.

Es handelt sich im Untersuchungsbestand III um die Bäume 27 und 32 und im Untersuchungsbestand IV um die Bäume 30⁺ und 34 (s. Abb. 45 u. 46).

Es stellte sich bei der terrestrischen Prüfung heraus, daß die Kronenprojektionen einiger Bäume offensichtlich kleiner waren als im Luftbildaufzeichnungsplan wiedergegeben. Diese Fehlinterpretation bezüglich der Kronengröße ist darauf zurückzuführen, daß unterständige Laubbäume oder Bodenvegetation, deren spektrale Eigenschaft jener der kranken Kiefernkrone ähnlich war, den Eindruck größerer Kronen hervorriefen. Die hiervon betroffenen Bäume (Bestand III Nr. 6⁺, 23⁺, 29⁺ und Bestand IV Nr. 29⁺) mußten nachträglich für die folgenden densitometrischen Messungen eliminiert werden, da ihr tatsächlicher Kronendurchmesser im Luftbild entgegen der ursprünglichen Annahme kleiner als 0,5 mm war.

Der Vergleich des Interpretationsergebnisses und der terrestrisch festgestellten Wirklichkeit ergab hinsichtlich der Ansprache krank oder gesund das in Tab. 32 niedergelegte Ergebnis:

U-Bestand Nr.	Kategorie	interpretiert	ausgefallen ¹⁾	verblieben	Geländeausprache
III	gesund	38	2	36	36
III	krank	33	3	30	30
IV	gesund	36	1	35	35
IV	krank	30	2	28	28

Tab. 32: Ergebniss der terrestrischen Untersuchungen.

1) ausgefallen, weil umgefallen oder nachträglich als zu kleine Krone erkannt (s. Abb. 45 und 46 die schraffierten Bäume).

Wie die Ergebnistabelle ausweist, waren alle Bäume, die im Luftbild nach den beiden Kategorien gesund und krank ausgesprochen worden waren, auch tatsächlich diesen Kategorien im Gelände zuzuordnen. Fehlinterpretationen traten nicht auf. Die "Trefferquote" betrug mithin in beiden Untersuchungsbeständen 100%. Aber es darf wiederum nicht vergessen werden, daß diese überraschend guten Ergebnisse nur für diese Bildbefliegung gelten.

In die folgenden densitometrischen Messungen wurden die in Tab. 32 (verbliebenen) aufgeführten Baumzahlen einbezogen.

3.4. Messungen mit dem Densitometer

Gegenüber dem vorherigen Kapitel, in dem zur Feststellung des Absterbejahres von Kiefern densitometrische Messungen mit Bohrspanmessungen verglichen wurden, wird in diesem Kapitel die densitometrische Messung zur Unterscheidung zwischen kranken und gesunden Kiefern herangezogen.

Auch für dieses Kapitel wurden alle Messungen, diesmal die Untersuchungsbestände III und IV, mit dem Densitometer MACBETH TD-102 und der Meßblende 0,5 mm Durchmesser, durchgeführt.

Die Messungen wurden für denselben Untersuchungsbestand in jeweils beiden Bildern des Stereobildpaares durchgeführt. Dabei wurden alle jene Baumkronen densitometrisch gemessen, deren Projektionen im Luftbildaufzeichnungsplan eingezeichnet worden waren. Wenn der Bestand in der Nähe des Bildrandes des einen Luftbildes abgebildet war (vgl. hierzu Abb. 44), konnte es wegen Verdeckungen, Beschattungen usw. vorkommen, daß die sichtbare Kronenprojektion im Luftbild bei einzelnen Bäumen kleiner als 0,5 mm, d.h. kleiner als die Meßblendenöffnung wurde (siehe Abb. 50).



Abb. 50: "Auswirkung der gegenseitigen Kronenbeschattung auf die Kronenabbildung (schematisiert)."
(aus BAUMANN 1959).

In einem solchen Falle entfiel die Messung einer solchen Baumkrone in dem betreffenden Luftbild. Dies erklärt die Diskrepanz in der Anzahl der gemessenen Kronen eines Bestandes in den beiden Luftbildern.

Bei jeder Messung wurden aus Sicherheitsgründen sowohl die Dichtewerte D als auch die Transmissionswerte T im ungefilterten und im rot, grün und blau gefilterten Licht abgelesen und in entsprechenden Listen eingetragen. Die Transmissionswerte wurden mit denselben Formeln wie im Kapitel 2.5.1. in die speziellen Farbanteile r, g, b umgerechnet.

3.5. Vergleich der Ergebnisse der densitometrischen Messungen von kranken und gesunden Kiefern

Die densitometrischen Messergebnisse wurden - wie im Kap. 2.6 - in folgender Weise in die entsprechenden Tabellen eingetragen: die Spalte 1 enthält die laufende Baum-Nr., Spalte 2 den Kronenzustand (krank K und gesund G), die Spalten 3, 4, 5 und 6 sind gemessene Transmissionswerte $T_{W=W}$, $T_{R=R}$, $T_{G=G}$ und $T_{B=B}$. Die Summe von R, G, B wurden in Spalte 7 eingetragen und in den Spalten 8, 9 und 10 die aus den Transmissionswerten berechneten speziellen Farbanteile r, g, b . Schließlich wurden in Spalte 12 die Rechenmaßwerte X , die nach Berechnung der linearen Diskriminanzfunktion ermittelt wurden, eingetragen. Anhand dieser Tabellen ¹⁾ wurden für den Untersuchungsbestand III die graphischen Abbildungen 51, 52 und für den Untersuchungs-

1) Die umfangreichen Tabellen werden in dieser Arbeit nicht abgedruckt, sind jedoch im Original in der Abteilung Luftbildmessung und -interpretation der Universität Freiburg einzusehen. Im übrigen sind in den Tabellen enthaltenen Ergebnisse aus den Abbildungen ablesbar.

bestand IV die Abbildungen 53, 54 gezeichnet.

Bei diesen Abbildungen wurden wiederum, wie schon im Kapitel 2.6., die Farbanteile r (rot) denen von b (blau) gegenübergestellt. Sie liefern bessere und eindeutigere Ergebnisse als die Kombinationen von r (rot) mit g (grün) oder g (grün) mit b (blau).

Nach dieser Vorerklärung soll hier die Frage der Erkennung der kranken Kiefern in den Untersuchungsbeständen vorerst in jedem einzelnen Luftbild diskutiert werden:

a) Untersuchungsbestand III im Luftbild Nr. 214

In diesem Luftbild wurden 27 kranke bzw. 36 gesunde Kiefern mit dem Densitometer gemessen und das Ergebnis in Abb. 51 dargestellt.

Wenn man die Abb. 51 betrachtet, kommt man zu folgendem Ergebnis, daß außer einem engen Überlappungsbereich die kranken und die gesunden Kiefern jeweils getrennte Cluster bilden.

Von den gemessenen 27 kranken Kiefern lassen sich danach 23 bzw. 85% eindeutig als krank einstufen, nur 4 kranke Kiefern (15%) liegen in einer Übergangszone und bilden dort auf Grund ihrer Farbanteile ein "Misch-Cluster" mit gesunden Kiefern. Von den gemessenen 36 gesunden Kiefern lassen sich 22 (61%) eindeutig als gesund erkennen, nur 14 Kiefern bzw. 39% fallen in das "Misch-Cluster". Der Überlappungsbereich von 15% bzw. 39% erscheint akzeptabel, wenn man die Schwierigkeiten sowohl bei der visuellen Luftbildinterpretation als auch bei den terrestrischen Untersuchungen berücksichtigt (vgl. Kap. 3. u. 3.4.).

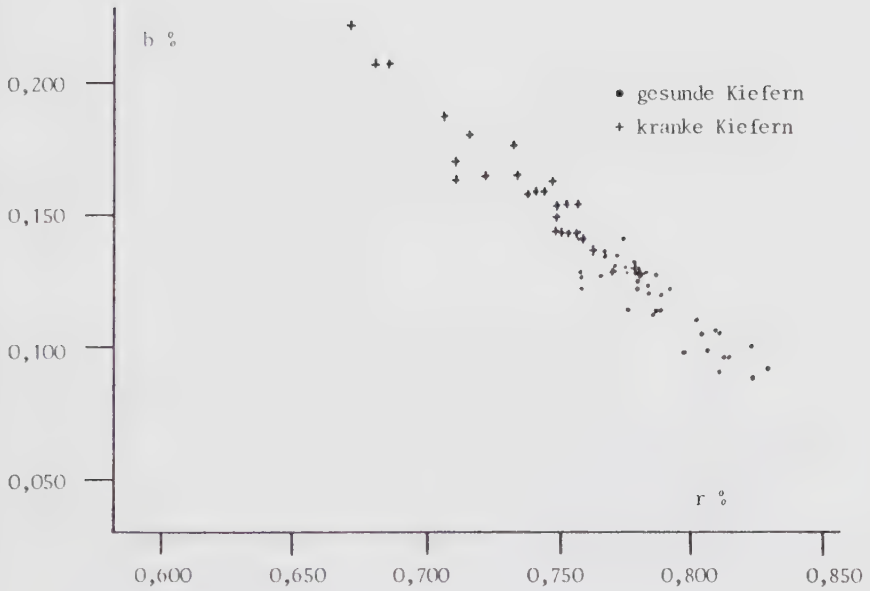


Abb. 51: Graphische Darstellung der densitometrischen Farbanteilwerte rot und blau von gesunden und kranken Kiefern des Untersuchungsbestandes III im Luftbild 214.

b) Untersuchungsbestand III im Luftbild Nr. 215

Die Abb. 52 stellt die Ergebnisse von 30 gemessenen kranken und 36 gesunden Kiefern gegenüber.

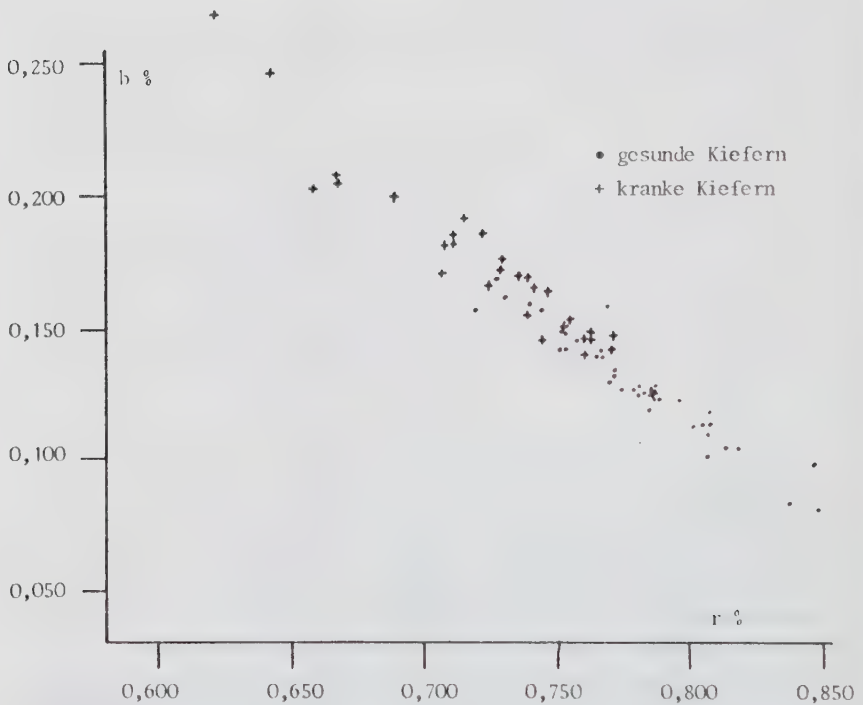


Abb. 52: Graphische Darstellung der densitometrischen Farbanteilwerte blau und rot von gesunden und kranken Kiefern des Untersuchungsbestandes III im Luftbild 215.

Wie aus dieser Abbildung zu ersehen ist, hat sich der Überlappungsbereich verbreitert. Von 30 als krank gemessenen Kiefern bilden 12 bzw. 40% ein reines Cluster und lassen sich so eindeutig als krank erkennen. 18 bzw. 60% der kranken Kiefern bilden mit 25 bzw. 61 der als gesund erkannten Kiefern im Überlappungsbereich ein "Misch-Cluster". Die restlichen 11 gesunden bzw. 31% Kiefern bilden ein drittes Cluster.

Bei dieser Beobachtung wurde der Überlappungsbereich und damit das "Misch-Cluster" soweit ausgedehnt, daß auch ein Meßwert, der als "Ausreißer" betrachtet werden kann, noch erfaßt wird (s. Abb. 52). Läßt man diesen Ausreißer außer acht, so würden sich die Grenzen der Cluster zu Gunsten des gesunden Bereiches verschieben. In diesem Fall ergeben sich 13 gesunde Kiefern (36%) im "Misch-Cluster" und 23 gesunden Kiefern (64%) im rein gesunden Cluster.

Stellt man die Ergebnisse vom Untersuchungsbestand III aus den Luftbildern 214 und 215 gegenüber (ohne Berücksichtigung des Ausreißers im Bild Nr. 215), so wurden 61 bzw. 65% der als gesund angesprochenen Kiefern durch densitometrische Messungen eindeutig klassifiziert. Bei den kranken Kiefern liegt die Trefferquote bei 40 bzw. 85%. Diese Differenz innerhalb der kranken Kiefern läßt sich damit erklären, daß die Bildortabhängigkeit hier eine größere Rolle spielt als bei gesunden Kiefern. Eine Verfälschung des Ergebnisses durch Beschattung von Kronenteilen oder durchstrahlenden Bodenbewuchs bei den lockeren Kronen der kranken Kiefern ist im gegebenen Fall im Luftbild 215 leichter möglich. Insgesamt ergibt sich in solchen Fällen ein größerer Rotanteil und damit eine Abbildungsfarbe, die sich jener der gesunden Kiefern annähert.

c) Untersuchungsbestand IV im Luftbild 227

Die Ergebnisse von 28 gemessenen kranken und 35 gesunden Kiefern werden in Abb. 53 dargestellt.

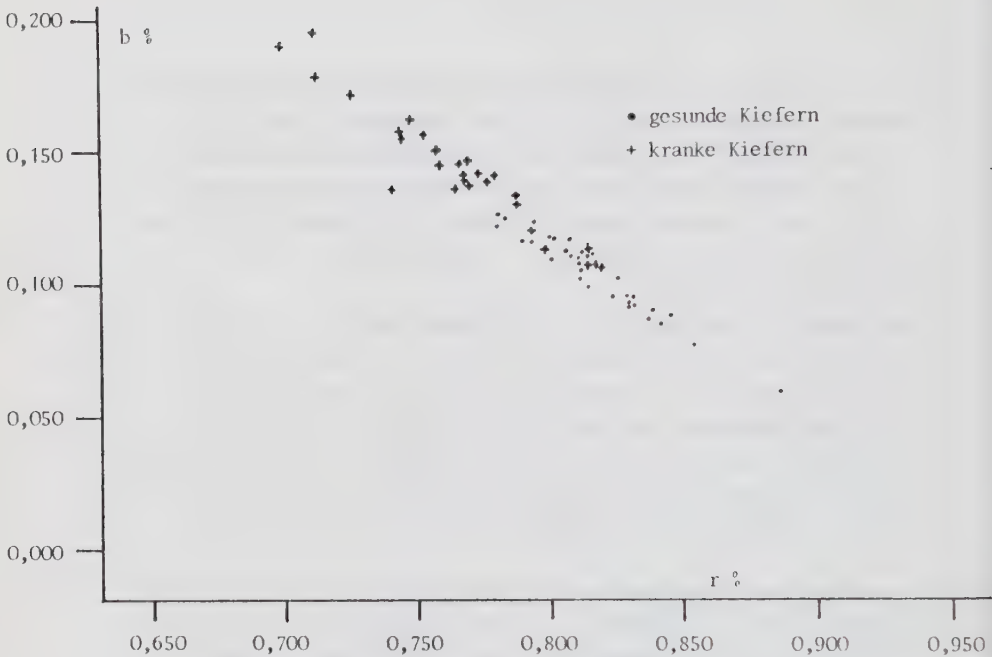


Abb. 53: Graphische Darstellung der densitometrischen Farbanteilewerte blau und rot von gesunden und kranken Kiefern des Untersuchungsbestandes IV im Luftbild 227.

In dieser Abbildung (s. Abb. 53) bilden von 28 als krank erkannten Kiefern 20 bzw. 71% ein klares Cluster. Dagegen fallen 8 bzw. 29% zusammen mit 22 bzw. 63% von 35 als gesund erkannten Kiefern in einem breiten Überlappungsbereich. Die restlichen 13 bzw. 37% gesunden Kiefern bilden ein reines Cluster.

d) Untersuchungsbestand IV im Luftbild Nr. 226

Abb. 54 zeigt die Ergebnisse von 23 als krank und 35 als gesund gemessenen Kiefern.

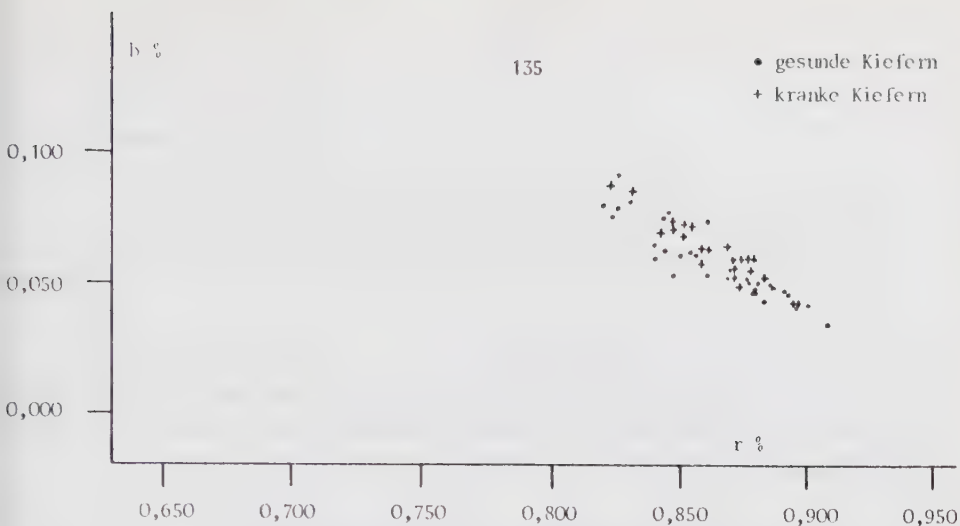


Abb. 54: Graphische Darstellung der densitometrischen Farbanteilewerte blau und rot von gesunden und kranken Kiefern des Untersuchungsbestandes IV im Luftbild 226.

Im Gegensatz zu allen bisher beschriebenen und doch insgesamt befriedigenden Ergebnissen zeigt Abb. 54 keine Möglichkeit für eine sinnvolle Clusterbildung. Dieses Ergebnis kam nicht unerwartet, da der Bestand IV auf dem Luftbild 226 ganz am Rand der Aufnahme abgebildet ist (vgl. Abb. 44). Dies bedeutet also zumindest für das gegebene Bildmaterial und die untersuchten Objekte, daß eine klare oder doch wenigstens befriedigende Differenzierung nach kranken und gesunden Kiefern nur möglich ist, wenn der Untersuchungsbestand im Bildmittenbereich liegt. Bei der Abbildung des Bestandes am Bildrand ist keine Differenzierung möglich.

Wie ein Vergleich der Abb. 53 und 54 ergibt, sind die Farbanteile (rot-blau) der kranken Kiefern im Luftbild 226 stark in den roten (gesunden) Bereich verschoben, während die gesunden Kiefern etwa im gleichen Bereich wie im Luftbild 227 verblieben.

In der visuellen Betrachtung der vorhandenen Luftbilder zeigt sich dementsprechend eine deutliche Abdunkelung der Randzonen mit gleich-

zeitiger Verschiebung der Farbanteile zu rot (vgl. Kap. 4). Dies erschwert auch die rein visuelle Differenzierung von gesunden und kranken Kiefern, wenn der Untersuchungsbestand in Bildrandlage abgebildet ist.

Nach der Diskussion der Ergebnisse der densitometrischen Farbmessungen der Untersuchungsbestände III und IV kann man das Ergebnis im Hinblick auf die Frage nach der Erkennung kranker Kiefern folgendermaßen zusammenfassen:

1. Die Gegenüberstellung der roten und blauen Farbanteile liefert bessere Ergebnisse zur Unterscheidung zwischen kranken und gesunden Kiefern als die von r (rot) mit g (grün) oder g (grün) mit b (blau).
2. Im Allgemeinen ist aus den densitometrischen Messungen eindeutig zu erkennen (ausgenommen Abb. 54), daß im IR-Farbluftbild die Abbildungen gesunder Kiefern einen höheren Rotanteil (r), die der kranken Kiefern jedoch einen höheren Blauanteil (b) aufweisen.
3. In allen Abbildungen gruppieren sich die Teilkollektive - gesunde und kranke Kiefern - eng entlang einer gedachten Ausgleichsgeraden. Entlang dieser gedachten Geraden läßt sich dann, wenn sich der Untersuchungsbestand in etwa der Bildmitte befindet, ein relativ schärferer Übergang zwischen dem gesunden und kranken Kollektiv erkennen (vgl. hierzu Pkt. 6).
4. Für die Trennung von kranken und gesunden Kiefern zeigt sich, daß die Bildortlage von großer Bedeutung ist. (vgl. Kap. 4).

5. Innerhalb der Teilkollektive der kranken und gesunden Kiefernkrone gibt es ebenfalls mehr oder weniger große farbliche Unterschiede (s. Tab. 33).

Untersuchungs- bestand	Luftbild- Nr.	Kronenzu- stand	Farbanteile					
			r(rot)			b(blau)		
			$x_{\min.}$	$\bar{x}$	$x_{\max.}$	$x_{\min.}$	$\bar{x}$	$x_{\max.}$
III	214	gesund	0,758	0,789	0,830	0,088	0,118	0,141
		krank	0,671	0,738	0,781	0,128	0,158	0,222
	215	gesund	0,741	0,7825	0,849	0,079	0,1265	0,168
		krank ¹⁾	0,620	0,7275	0,788	0,125	0,170	0,268
		krank ²⁾	0,620	0,721	0,772	0,139	0,172	0,268
IV	227	gesund	0,766	0,815	0,886	0,058	0,103	0,126
		krank	0,698	0,765	0,820	0,106	0,144	0,196
	226	gesund	0,821	0,866	0,909	0,035	0,0574	0,092
		krank	0,824	0,865	0,896	0,042	0,063	0,689

Tab. 33: 1) mit Ausreißer
2) ohne Ausreißer

6. Aus Tab. 34 läßt sich ersehen, daß die gesunden und die kranken Kiefern in Abhängigkeit von der Bildortlage der Untersuchungsbestände mehr oder weniger drei eindeutige Cluster bilden; zwei reine Cluster für gesunde und kranke Kiefern. Dazwischen ein "Misch-Cluster", das bei der Lage des Untersuchungsbestandes im Bildzentrum oder in deren Nähe sehr klein sein kann, jedoch nahe dem Bildrand einen großen Bereich einnimmt.

Untersuchungs- bestand	Luftbild Nr.	Ergebnis für die kranken Kiefern				Ergebnis für die gesunden Kiefern			
		im reinen Cluster		im Mischbereich		im Mischbereich		im reinen Cluster	
		n	%	n	%	n	%	n	%
III	214	23	85	4	15	14	39	22	61
	215 ¹⁾	12	40	18	60	25	69	11	31
	215 ²⁾	12	40	18	60	13	36	23	64
IV	227	20	71	8	29	22	63	13	37
	226	-	-	23	100	35	100	-	-

Tab. 34: 1) mit Ausreißer, 2) ohne Ausreißer

Letzterer kann im Extremfall (vgl. Bestand IV im Bild 226) so ausgedehnt sein, daß praktisch die Meßergebnisse aller gesunden und kranken Kronen ein großes "Misch-Cluster" bilden.

Es ist dabei jedoch zu berücksichtigen, daß bezüglich der Beleuchtungsverhältnisse alle in die Untersuchung dieses Kapitels einbezogenen Bestände sich im Mittenbereich - also weder im Gegenlicht - noch im Mitlichtgebiet (vgl. Abb. 44) befinden. Eine unterschiedliche Bildortlage ist aber dennoch durch die Entfernung der

Abbildung der Bestände von der Bildmitte gegeben.

Nach der Tab. 34 stellt sich das Ergebnis zahlenmäßig folgendermaßen dar:

- nahe der Bildmitte (s. Abb. 44) lassen sich im Bezug auf die terrestrischen Untersuchungen bzw. die visuelle Luftbildinterpretation durch die densitometrischen Messungen ca. 71-85% der kranken Kiefern und ca. 61-64% der gesunden Kiefern bestätigen.
- Am Bildrand (Abb. 44) lassen sich dagegen nur ca. 0-40% der kranken und ca. 0-31% der gesunden Kiefern der jeweiligen Klasse zuordnen.

Die Ergebnisse können sich natürlich mit der Vergrößerung des Luftbildmaßstabes bzw. der Abbildungsgröße der Baumkronen und des Schlußgrades der Untersuchungsbestände bei der densitometrischen Messung zur *p o s i t i v e n* Seite verschieben. Groß abgebildete Kiefernkronen lassen sich densitometrisch sicherer abgrenzen und abmessen. Ein hoher Schlußgrad eines Bestandes kann Fremdeinflüsse z.B. durch die Reflexion des Unterwuchses, von unterständigen Laubbäumen oder übergreifenden gesunden Nachbarbäumen verringern.

In der vorliegenden Arbeit war es nicht möglich, diese genannten Faktoren im Nachhinein auszuschalten. Erst die Messungen und die Ergebnisse zeigten diese Störfaktoren auf. Bei ähnlichen Arbeiten sollten diese jedoch frühzeitig berücksichtigt und soweit wie möglich ausgeschaltet werden.

Eine weitere statistische Auswertung der o.g. Ergebnisse schließt sich in dem nächsten Kap. 3.6 an. Es wird gefragt, in wie weit die gesunden und kranken Kiefern sich durch Diskriminanzanalyse trennen lassen und wie hoch der Sicherheitsgrad einer solchen Trennung ist (s. Kap. 3.6.).

3.6. Quantitative Interpretation mit Hilfe der Diskriminanzanalyse und feststellung des Sicherheitsgrades mit der Varianzanalyse

Im Kap. 3.5. hatte sich ergeben, daß die als krank und gesund erkannten Kiefern sich (außer im Untersuchungsbestand IV im Luftbild 226) mit einer gewissen akzeptablen Trefferquote durch densitometrische Messungen und darauf aufbauender graphischer Clusteranalyse definieren lassen.

Nun soll in diesem Kapitel die Frage beantwortet werden, ob die als gesund und krank erkannten Kiefern sich mit Hilfe einer Diskriminanzanalyse trennen lassen; wie sicher diese Trennung ist, soll danach mit Hilfe der Signifikanzprüfung festgestellt werden.

Alle rechnerischen Wege wurden in diesem Kapitel wie im Kap. 2.7. durchgeführt. Hierzu wurden statt der Tabellen der densitometrischen Meßergebnisse von einzelnen Kiefern die zusammengefaßten Tabellen (vgl. Tab. 35 a,b,c,d,e,f) verwendet.

Die Ergebnisse wurden je nach Untersuchungsbestand und jeweiligem Luftbild folgendermaßen dargestellt:

a) Untersuchungsbestand III

Luftbild Nr. 214

Gesamtheit A = gesunde Kiefern, Gesamtheit B = kranke Kiefern

$$\bar{x}_1^A = 0,789 \text{ (Aus Tab. 35 a)}, \bar{x}_1^B = 0,738 \text{ (Aus Tab. 35 b)}$$

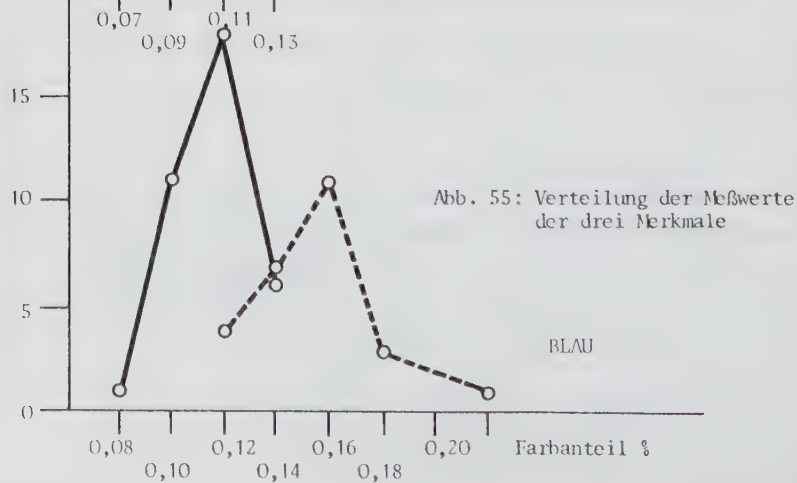
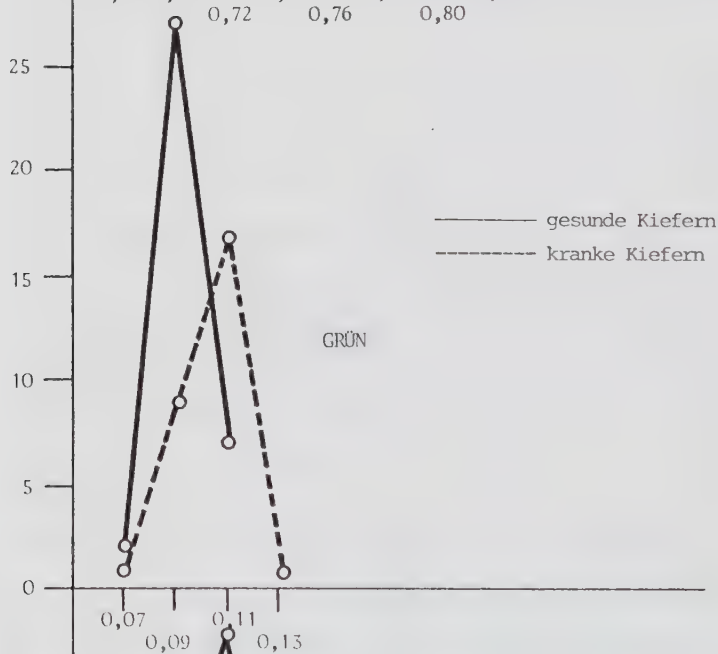
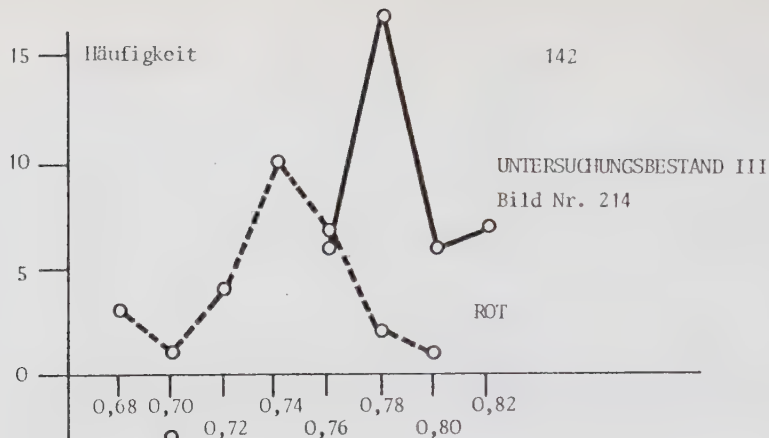
$$\bar{x}_2^A = 0,093 \text{ (Aus Tab. 35 c)}, \bar{x}_2^B = 0,104 \text{ (Aus Tab. 35 d)}$$

$$\bar{x}_3^A = 0,118 \text{ (Aus Tab. 35 e)}, \bar{x}_3^B = 0,158 \text{ (Aus Tab. 35 f)}$$

Aus der Tabelle 35 wurden die densitometrischen Meßergebnisse in Abb. 55 für drei Merkmale - die Farbanteile r, g, b - in beiden Gesamtheiten dargestellt. Die Verteilungen der Merkmalswerte $\bar{x}_1^A$, $\bar{x}_1^B$ und $\bar{x}_2^A$, $\bar{x}_2^B$ überschneiden sich in drei, dagegen $\bar{x}_3^A$ und $\bar{x}_3^B$ in zwei Meßbereichen.

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
X_i	n_i	X'_i	$n_i X'_i$	$n_i (X_i - \bar{X})$	$n_i (X_i - \bar{X})^2$	X_i	n_i	X'_i	$n_i X'_i$	$n_i (X_i - \bar{X})$	$n_i (X_i - \bar{X})^2$		
0,760	6	- 1	- 6	$\sum = 0,424$	$\sum = 0,013876$	0,680	3	- 3	- 9	$\sum = 0,542$	$\sum = 0,019788$		
0,780	17	0	0			0,700	1	- 2	- 2				
0,800	6	+ 1	+ 6			0,720	4	- 1	- 4				
0,820	$n^A = 36$	+ 2	+ 14			0,740	10	0	0				
			+ 14			0,760	7	+ 1	+ 7				
						0,780	2	+ 2	+ 4				
$\bar{X}_1^A = 0,789$						$\bar{X}_1^B = 0,738$							
						b)							
0,070	2	- 1	- 2	$\sum = 0,246$	$\sum = 0,003324$	0,090	9	- 1	- 9	$\sum = 0,254$	$\sum = 0,003052$		
0,090	27	0	0			0,110	17	0	0				
0,110	7	+ 1	+ 7			0,130	1	+ 1	+ 1				
	$n^A = 36$		+ 5				$n^B = 27$		- 8				
$\bar{X}_2^A = 0,093$						$\bar{X}_2^B = 0,104$							
						c)							
0,080	1	- 1	1	$\sum = 0,294$	$\sum = 0,007984$	0,120	3	- 2	- 6	$\sum = 0,474$	$\sum = 0,015468$		
0,100	11	0	0			0,140	7	- 1	- 7				
0,120	18	+ 1	+ 18			0,160	11	0	0				
0,140	$n^A = 36$	+ 2	+ 12			0,180	3	+ 1	+ 3				
			+ 29			0,200	2	+ 2	+ 2				
						0,220	1	+ 3	+ 3				
							$n^B = 27$		- 3				
$\bar{X}_3^A = 0,118$						$\bar{X}_3^B = 0,158$							
						e)							
						f)							

Tab. 35 a,b,c,d,e,f: Untersuchungsbestand III, Bild Nr. 214



Nach Berechnung der densitometrischen Messungen ergeben sich folgende d_i - und b_i -Werte:

$$\begin{array}{ll} d_1 = 0,051 & b_1 = 0,13608 \\ d_2 = -0,011 & b_2 = -0,32445 \\ d_3 = -0,040 & b_3 = -2,615 \end{array}$$

Die gesuchte Diskriminanzfunktion lautet damit

$$X = 0,13608 \cdot x_1 - 0,32445 \cdot x_2 - 2,615 \cdot x_3$$

Wenn man für $b_1 = 1$ setzt, so erhält man

$$X = x_1 - 2,3843 \cdot x_2 - 19,2166 \cdot x_3$$

In dieser Funktion wurden die Meßwerte für die beiden Gesamtheiten A und B eingesetzt und die entsprechenden Rechenmaße X ermittelt. Diese wurden in Tab. 36 zu Klassen zusammengefaßt und in Abb. 56 dargestellt.

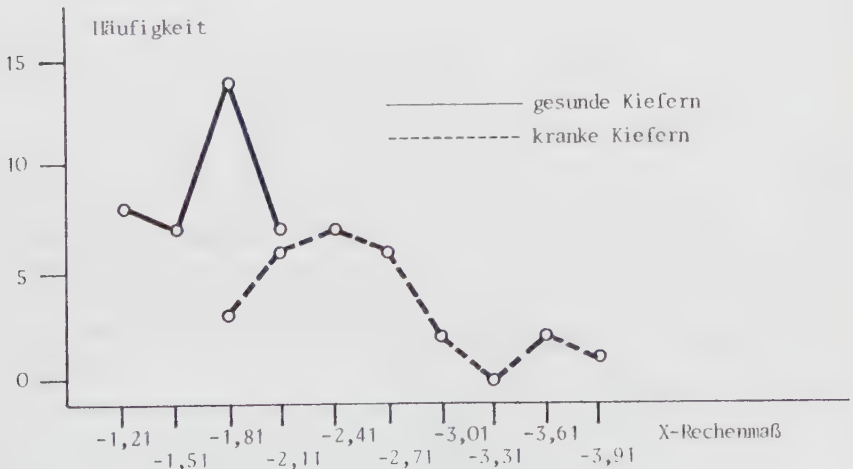


Abb. 56 Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten.

Rechenmaß $\bar{x}$		Häufigkeit χ^A	Häufigkeit χ^B
Die Klassen	$\bar{x}_i$	(gesunde Kiefern)	(kranke Kiefern)
- 1,06 - 1,36	-1,21	8	-
- 1,36 - 1,66	-1,51	7	-
- 1,66 - 1,96	-1,81	14	3
- 1,96 - 2,26	-2,71	7	6
- 2,26 - 2,56	-2,41	-	7
- 2,56 - 2,86	-2,71	-	6
- 2,86 - 3,16	-3,01	-	2
- 3,16 - 3,46	-3,31	-	0
- 3,46 - 3,76	-3,61	-	2
- 3,76 - 4,06	-3,91	-	1
		$n^A = 36$	$n^B = 27$

Tab. 36 zeigt die Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten. Obwohl sich in den Klassen von -1,81 bis -2,11 Überschneidungen ergeben, kann man die Trennung der beiden Gesamtheiten unter der Berücksichtigung der Schwierigkeiten bei der allgemeinen Trennung zwischen kranken und gesunden Kiefern als gut bezeichnen.

Die Prüfung auf Signifikanz zu diesem Ergebnis wird auf Seite 157 in Tab. 43 durchgeführt.

b) Untersuchungsbestand III

Luftbild Nr. 215

A = 36 gesunde Kiefern, B = 30 kranke Kiefern

$\bar{x}_1^A = 0,7825$ (Aus Tab. 37 a), $\bar{x}_1^B = 0,7275$ (Aus Tab. 37 b)

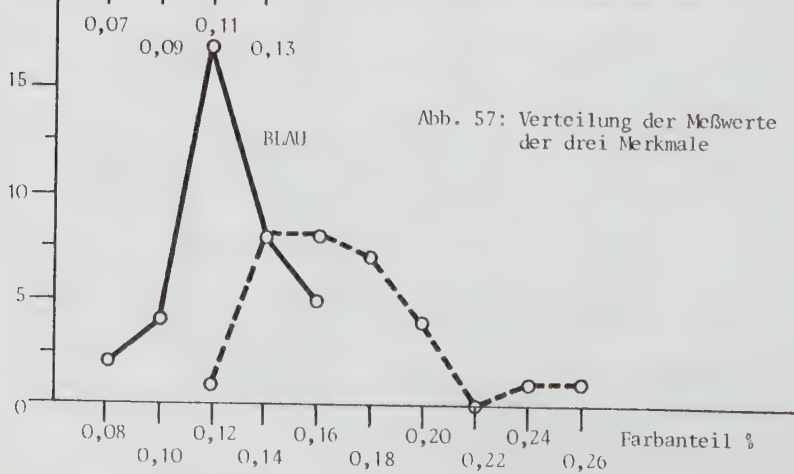
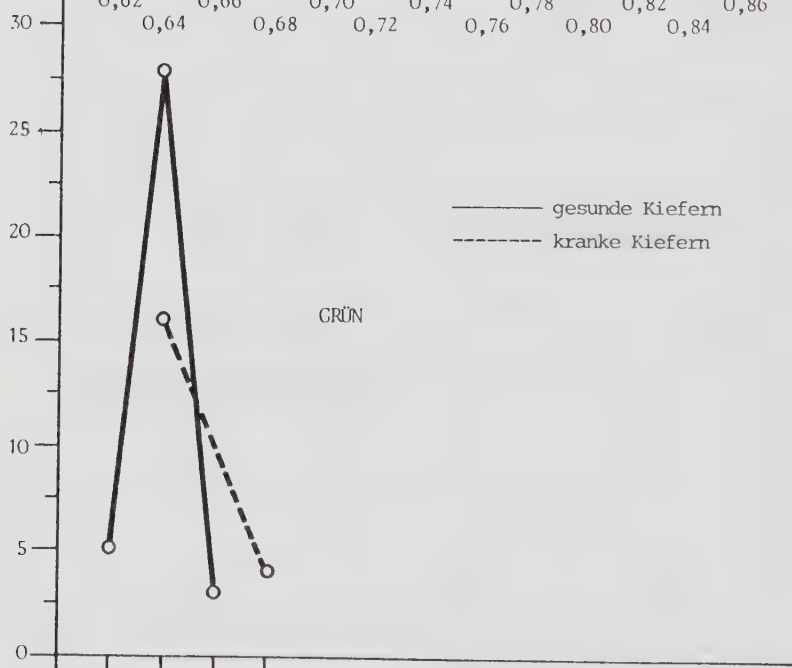
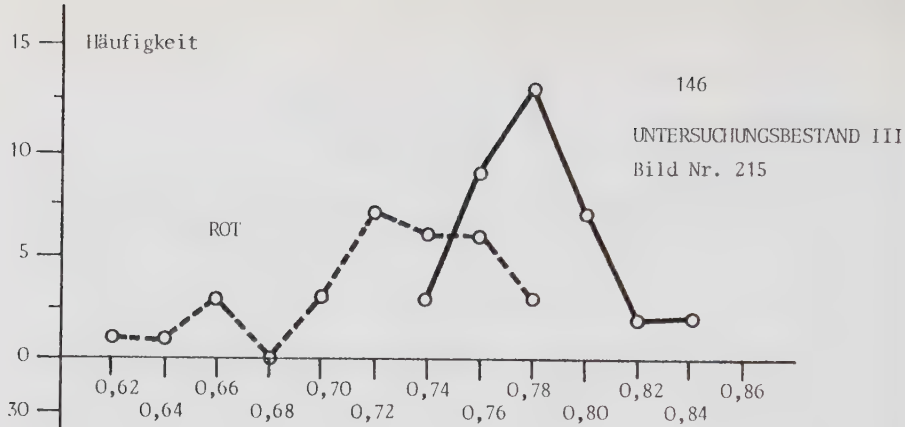
$\bar{x}_2^A = 0,0910$ (Aus Tab. 37 c), $\bar{x}_2^B = 0,1025$ (Aus Tab. 37 d)

$\bar{x}_3^A = 0,1256$ (Aus Tab. 37 e), $\bar{x}_3^B = 0,1700$ (Aus Tab. 37 f)

Aus der Tab. 37 wurden die densitometrischen Meßergebnisse in Abb. 57 für drei Merkmale - Farbanteile r, g, b - in beiden Gesamtheiten dargestellt. Die Verteilung der Merkmalswerte x_1^A und x_1^B überschneiden sich in zwei Meßbereichen. Die Merkmalswerte x_2^A , x_2^B und x_3^A , x_3^B überschneiden sich dagegen in der Breite in zwei bzw. drei Meßbereichen.

1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
X_i	n_i	X'_i	$n_1 X'_i$	$n_1 (X_i - \bar{X})$	$n_1 (X_i - \bar{X})^2$		X_i	n_i	X'_i	$n_1 X'_i$	$n_1 (X_i - \bar{X})$	$n_1 (X_i - \bar{X})^2$
0,740	3	- 2	- 6	$\sum = 0,6375$	$\sum = 0,021625$		0,620	1	- 4	- 4	$\sum = 0,96$	$\sum = 0,0510875$
0,760	9	- 1	- 9				0,640	1	- 3	- 3		
0,780	13	0	0				0,660	3	- 2	- 6		
0,800	7	+ 1	+ 7				0,680	0	- 1	0		
0,820	2	+ 2	+ 4				0,700	3	0	0		
0,840	2	+ 3	+ 6				0,720	7	+ 1	+ 7		
	$n^A = 36$		+ 2				0,740	6	+ 2	+ 12		
							0,760	6	+ 3	+ 18		
							0,780	3	+ 4	+ 12		
								$n^B = 30$		+ 36		
$\bar{X}_1^A = 0,7825$						a)	$\bar{X}_1^B = 0,7275$					
							b)					
0,070	5	- 1	- 5	$\sum = 0,19$	$\sum = 0,003316$		0,090	16	- 1	- 16	$\sum = 0,385$	$\sum = 0,0060875$
0,090	28	0	0				0,110	10	0	0		
0,110	3	+ 1	+ 3				0,130	4	+ 1	+ 4		
	$n^A = 36$		- 2					$n^B = 30$		- 12		
$\bar{X}_2^A = 0,091$						c)	$\bar{X}_2^B = 0,1025$					
							d)					
0,080	2	- 2	- 4	$\sum = 0,585$	$\sum = 0,014921$		0,120	1	- 3	- 3	$\sum = 0,72$	$\sum = 0,0278$
0,100	4	- 1	- 4				0,140	8	- 2	- 16		
0,120	17	0	0				0,160	8	- 1	- 8		
0,140	8	+ 1	+ 8				0,180	7	0	0		
0,160	5	+ 2	+ 10				0,200	4	+ 1	+ 4		
	$n^A = 36$		+ 10				0,220	0	+ 2	0		
							0,240	1	+ 3	+ 3		
							0,260	1	+ 4	+ 4		
								$n^B = 50$		- 16		
$\bar{X}_3^A = 0,1265$						e)	$\bar{X}_3^B = 0,170$					
							f)					

Tab. 37 a,b,c,d,e,f: Untersuchungsbestand III, Bild Nr. 215



Nach Berechnung der densitometrischen Messungen ergeben sich folgende d_i - und b_i -Werte:

$$d_1 = 0,0550$$

$$b_1 = -0,2803$$

$$d_2 = -0,0115$$

$$b_2 = -1,4673$$

$$d_3 = -0,0435$$

$$b_3 = -1,1506$$

Die gesuchte Diskriminanzfunktion lautet damit:

$$X = -0,2803 \cdot x_1 - 1,4673 \cdot x_2 - 1,1506 \cdot x_3$$

Wenn man für $b_1 = -1$ setzt, so erhält man

$$X = x_1 + 5,2347 \cdot x_2 + 4,1049 \cdot x_3$$

In diese Funktion wurden wiederum die Meßwerte für die beiden Gesamtheiten A und B eingesetzt und die entsprechenden Rechenmaße X ermittelt.

Diese wurden in Tab. 38 zu Klassen zusammengefaßt und in der dazugehörigen Abb. 58 dargestellt.

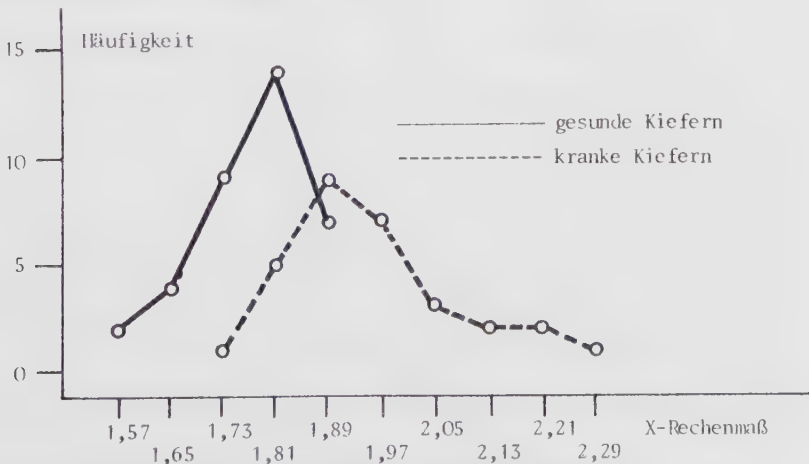


Abb. 58: Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten.

Rechenmaß $\bar{x}$		Häufigkeit x^A (gesunde Kiefern)	Häufigkeit x^B (kranke Kiefern)
Die Klassen	$\bar{x}_i$		
1,53 - 1,61	1,57	2	-
1,61 - 1,69	1,65	4	-
1,69 - 1,77	1,73	9	1
1,77 - 1,81	1,81	14	5
1,85 - 1,93	1,89	7	9
1,93 - 2,01	1,97	-	7
2,01 - 2,09	2,05	-	3
2,09 - 2,17	2,13	-	2
2,17 - 2,25	2,21	-	2
2,25 - 2,33	2,29	-	1
		$n^A = 36$	$n^B = 30$

Tab. 38 zeigt die Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten. Unter der Berücksichtigung der Schwierigkeiten bei der allgemeinen Trennung zwischen kranken und gesunden Kiefern kann man diese Trennung der beiden Gesamtheiten als befriedigend bezeichnen.

Die Prüfung auf Signifikanz zu diesen Ergebnissen wird auf Seite 157 in Tab. 43 durchgeführt.

c) Untersuchungsbestand IV

Luftbild Nr. 227

A = 35 gesunde Kiefern, B = 28 kranke Kiefern

$\bar{x}_1^A = 0,8150$ (Aus Tab. 39 a), $\bar{x}_1^B = 0,765$ (Aus Tab. 39 b)

$\bar{x}_2^A = 0,0817$ (Aus Tab. 39 c), $\bar{x}_2^B = 0,091$ (Aus Tab. 39 c)

$\bar{x}_3^A = 0,1017$ (Aus Tab. 39 e) $\bar{x}_3^B = 0,144$ (Aus Tab. 39 f)

Aus der Tab. 39 wurden die densitometrischen Meßergebnisse in Abb.59 für drei Merkmale - r, g, b - in beiden Gesamtheiten dargestellt.

Die Verteilung der Merkmalswerte x_1^A und x_1^B überschneiden sich in drei Meßbereichen. Die Merkmalswerte x_2^A , x_2^B und x_3^A , x_3^B überschneiden sich dagegen jeweils in zwei Meßbereichen.

1	2	3	4	5	6	
X_i	n_i	X'_i	$n_i X'_i$	$n_i(X_i - \bar{X})$	$n_i(X_i - \bar{X})^2$	$n_i(X_i - \bar{X})^2$
0,770	2	-2	-4		$\sum = 0,020075$	$\sum = 0,0253$
0,790	7	-1	-7		$\sum = 0,645$	$\sum = 0,65$
0,810	13	0	0			
0,830	9	+1	+9			
0,850	3	+2	+6			
0,870	0	+3	0			
0,890	1	+4	+4			
	$n^A=35$		$+8$			
$\bar{X}_1^A = 0,815$						
a)						
0,060	3	-1	-3		$\sum = 0,0035$	$\sum = 0,004348$
0,080	26	0	0			
0,100	6	+1	+6			
	$n^A=35$		$+3$			
$\bar{X}_2^A = 0,083$						
c)						
0,060	1	-2	-2		$\sum = 0,413$	$\sum = 0,017888$
0,080	5	-1	-5			
0,100	17	0	0			
0,120	12	+1	+12			
	$n^A=35$		$+5$			
$\bar{X}_2^A = 0,091$						
d)						
0,100	3	-2	-6		$\sum = 0,52$	$\sum = 0,017888$
0,120	3	-1	-3			
0,140	13	0	0			
0,160	5	+1	+5			
0,180	2	+2	+4			
0,200	2	+3	+6			
	$n^B=28$		$+6$			
$\bar{X}_2^B = 0,144$						
e)						
f)						

Tab. 39 a,b,c,d,e,f: Untersuchungsbestand IV, Bild Nr. 227

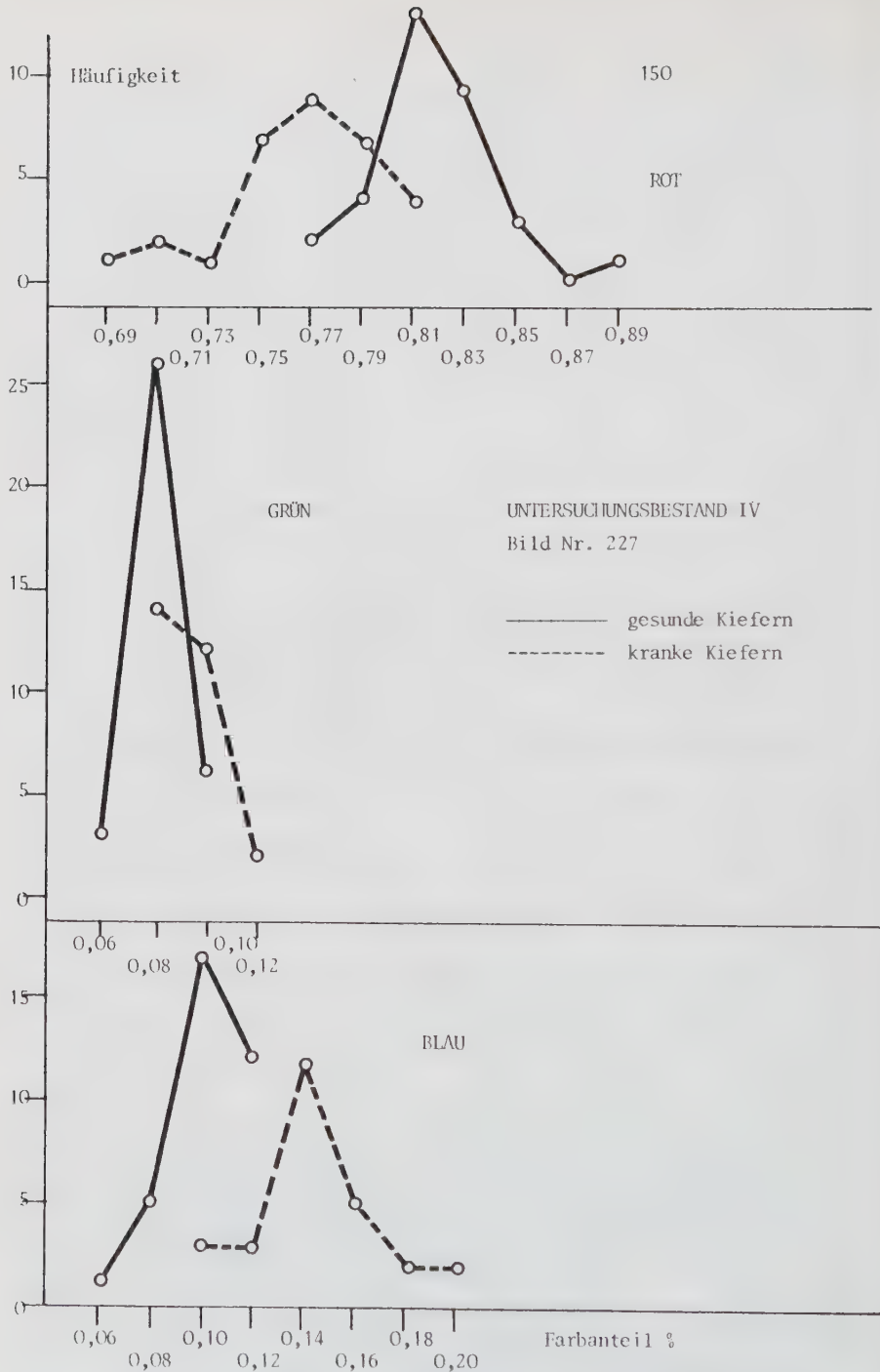


Abb. 59: Verteilung der Messwerte der drei Merkmale r, g, b in den beiden Gesamtheiten.

Nach Berechnung der densitometrischen Messungen ergeben sich folgende d_i - und b_i -Werte:

$$\begin{array}{ll} d_1 = 0,050 & b_1 = -0,3038 \\ d_2 = -0,009 & b_2 = 0,7505 \\ d_3 = -0,041 & b_3 = -4,41466 \end{array}$$

Die gesuchte Diskriminanzfunktion lautet damit,

$$X = -0,3038 \cdot x_1 + 0,7505 \cdot x_2 - 4,41466 \cdot x_3$$

Wenn man für $b_2 = 1$ setzt, so erhält man

$$X = -0,4048 \cdot x_1 + x_2 - 5,8823 \cdot x_3$$

In diese Funktion wurden wiederum die Meßwerte für die beiden Gesamtheiten A und B eingesetzt und die entsprechenden Rechenmaße X ermittelt.

Diese wurden in Tab. 40 zu Klassen zusammengefaßt und in der dazugehörigen Abb. 60 dargestellt.

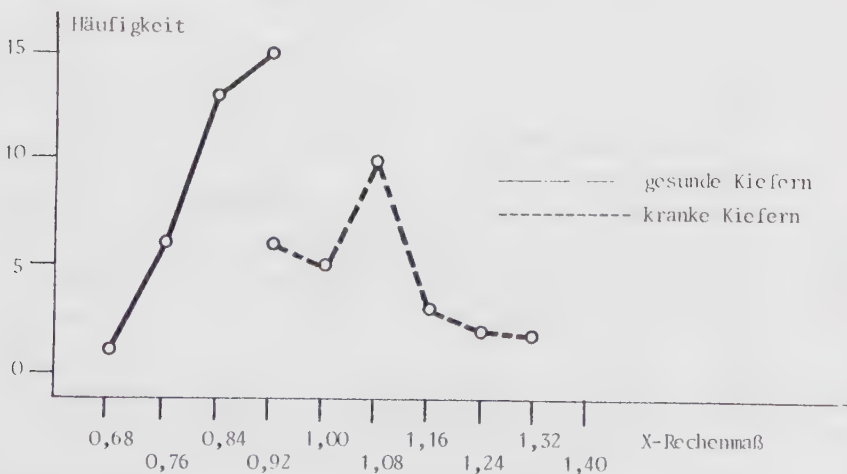


Abb. 60: Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten.

Rechenmaß $\bar{x}$		Häufigkeit χ^A (gesunde Kiefern)	Häufigkeit χ^B (kranke Kiefern)
Die Klassen	$\bar{x}_i$		
-0,64 - 0,72	-0,68	1	-
-0,72 - 0,80	-0,76	6	-
-0,80 - 0,88	-0,84	13	-
-0,88 - 0,96	-0,92	15	6
-0,96 - 1,04	-1,00	-	5
-1,04 - 1,12	-1,08	-	10
-1,12 - 1,20	-1,16	-	3
-1,20 - 1,28	-1,24	-	2
-1,28 - 1,36	-1,32	-	2
		$n^A = 35$	$n^B = 28$

Tab. 40 zeigt die Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten. Unter den gegebenen Umständen kann man dieses Ergebnis als gut bis sehr gut bezeichnen.

Die Prüfung auf Signifikanz dieses Ergebnisses wird auf Seite 157 in Tab. 43 durchgeführt.

d) Untersuchungsbestand IV

Luftbild Nr. 226

A = 35 gesunde Kiefern, B = 23 kranke Kiefern

$\bar{x}_1^A = 0,8660$ (Aus Tab. 41 a), $\bar{x}_1^B = 0,865$ (Aus Tab. 41 b)

$\bar{x}_2^A = 0,0766$ (Aus Tab. 41 c), $\bar{x}_2^B = 0,072$ (Aus Tab. 41 d)

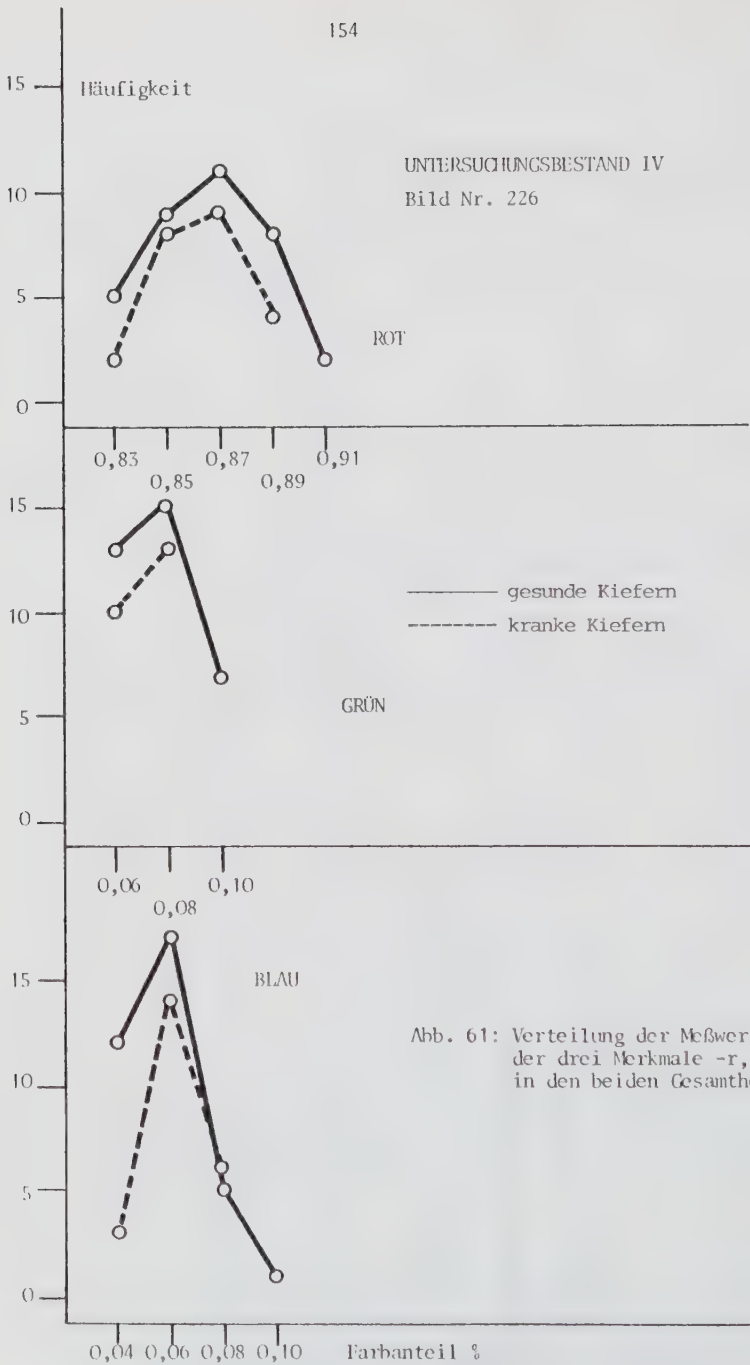
$\bar{x}_3^A = 0,0574$ (Aus Tab. 41 e), $\bar{x}_3^B = 0,063$ (Aus Tab. 41 f)

Aus der Tab. 41 wurden die densitometrischen Meßergebnisse in Abb.61 für drei Merkmale - r, g, - in beiden Gesamtheiten dargestellt.

Die Verteilung aller Merkmalswerte überschneiden sich vollständig in allen Meßbereichen.

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
X_i	n_i	X'_i	$n_i X'_i$	$n_i (X_i - \bar{X})$	$n_i (X_i - \bar{X})^2$	X_i	n_i	X'_i	$n_i X'_i$	$n_i (X_i - \bar{X})$	$n_i (X_i - \bar{X})^2$
0,830	5	- 2	- 10	$\sum = 0,648$	$\sum = 0,01744$	0,830	2	- 2	- 4	$\sum = 0,335$	$\sum = 0,006975$
0,850	9	- 1	- 9			0,850	8	- 1	- 8		
0,870	11	0	0			0,870	9	0	0		
0,890	8	+ 1	+ 8			0,890	4	+ 1	+ 4		
0,910	2	+ 2	+ 4				$n^B = 23$		- 8		
	$n^A = 35$		- 7								
$\bar{X}_1^A = 0,866$				a)		$\bar{X}_1^B = 0,865$				b)	
0,060	13	- 1	- 13	$\sum = 0,4306$	$\sum = 0,00759$	0,060	10	- 1	- 10	$\sum = 0,224$	$\sum = 0,002272$
0,080	15	0	0			0,080	13	0	0		
0,100	7	+ 1	+ 7				$n^B = 23$		- 10		
	$n^A = 35$		- 6							d)	
$\bar{X}_2^A = 0,0766$				c)		$\bar{X}_2^B = 0,072$					
0,040	12	- 1	- 12	$\sum = 0,4086$	$\sum = 0,008116$	0,040	3	- 1	- 3	$\sum = 0,213$	$\sum = 0,003447$
0,060	17	0	0			0,060	14	0	0		
0,080	5	+ 1	+ 5			0,080	6	+ 1	+ 6		
0,100	1	+ 2	+ 2				$n^B = 23$		+ 3		
	$n^A = 35$									e)	
$\bar{X}_3^A = 0,0574$				e)		$\bar{X}_3^B = 0,063$				f)	

Tab. 41 a,b,c,d,e,f: Untersuchungsbestand IV, Bild Nr. 226



Nach Berechnung der densitometrischen Messungen ergeben sich folgende d_i - und b_i -Werte:

$$\begin{array}{ll} d_1 = 0,001 & b_1 = -0,15043 \\ d_2 = 0,0046 & b_2 = -0,14912 \\ d_3 = -0,0056 & b_3 = -0,30462 \end{array}$$

Die gesuchte Diskriminanzfunktion lautet damit,

$$X = -0,15043 \cdot x_1 - 0,14912 \cdot x_2 - 0,30462 \cdot x_3$$

Wenn man für $b_2 = 1$ setzt, so erhält man

$$X = 1,009 \cdot x_1 - x_2 - 2,0428 \cdot x_3$$

In diese Funktion wurden wiederum die Messwerte für die beiden Gesamtheiten A und B eingesetzt und die entsprechenden Rechenmaße X ermittelt.

Diese wurden in Tab. 42 zu Klassen zusammengefaßt und in der zugehörigen Abb. 62 dargestellt.

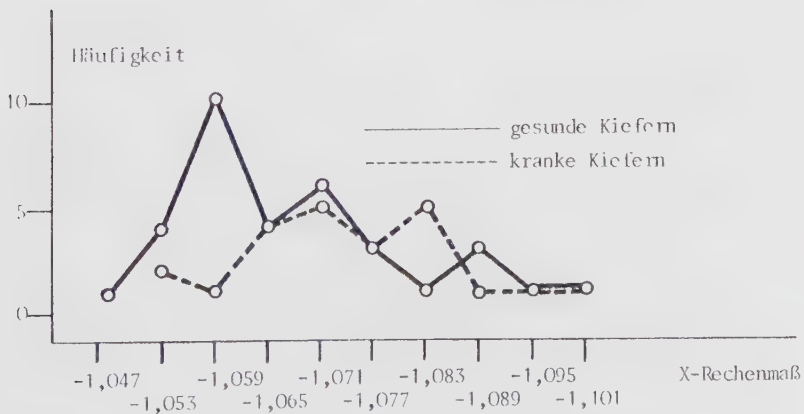


Abb. 62: Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten.

Rechenmaß $\bar{x}$		Häufigkeit χ^A (gesunde Kiefern)	Häufigkeit χ^B (kranke Kiefern)
Die Klassen	$\bar{x}_i$		
-1,044 - 1,050	-1,047	1	-
-1,050 - 1,056	-1,053	4	2
-1,056 - 1,062	-1,059	11	1
-1,062 - 1,068	-1,065	4	4
-1,068 - 1,074	-1,071	6	5
-1,074 - 1,080	-1,077	3	3
-1,080 - 1,086	-1,083	1	5
-1,086 - 1,092	-1,089	3	1
-1,092 - 1,098	-1,095	1	1
-1,098 - 1,104	-1,101	1	1
		$n^A = 35$	$n^B = 23$

Tab. 42 zeigt die Verteilung der Rechenmaße der beiden Gesamtheiten. Wie sich schon im Kap. 3.6. ergab, zeigt sich auch hier keinerlei Trennung von kranken und gesunden Kiefern. Auf die eingehende Interpretation dieses negativen Ergebnisses im Kap. 3.6. wird verwiesen.

Die Prüfung auf Signifikanz dieses Ergebnisses wird auf Seite 157 in Tab. 43 durchgeführt.

3.6.2. Signifikanzprüfung

Die im Kap. 3.6.1. beschriebenen linearen Diskriminanzfunktionen für die Untersuchungsbestände III und IV in den jeweiligen Luftbildern wurden einer Signifikanzprüfung unterzogen. Rechnerisch erfolgte dabei der schon im Kap. 2.6.2. dargestellte und verwendete Prozeß. Die Ergebnisse der Signifikanzprüfung sind in Tab. 43 zusammengefaßt dargestellt. Es zeigt sich, daß die Diskriminanzfunktionen in drei der vier Fälle selbst bei einer Überschreitungswahrscheinlichkeit

von 1% hochsignifikant sind. Lediglich für Bestand IV im Bild 226 ergab sich erwartungsgemäß ein negatives Ergebnis. Daß in diesem Sonderfall keine Trennung, also auch keine sichere Trennung zwischen den kranken und gesunden Kiefern möglich ist, wurde bereits erklärt.

Untersuchungsbestand	Luftbild Nr.	Variabilität	SQ	FG	MQ	F	F _{0,01}	Er-* gebnis
III	214	zwischen den Gruppen	0,20443	3	0,068143	37,295	(3:59)	+
		innerhalb der Gruppen	0,11511	59	0,001827		4,15	
	215	zwischen den Gruppen	0,043316	3	0,014467	17,409	(3:62)	+
		innerhalb der Gruppen	0,05145	62	0,000831		4,12	
IV	227	zwischen den Gruppen	0,393556	3	0,131185	48,661	(3:59)	+
		innerhalb der Gruppen	0,15906	59	0,0026959		4,15	
	226	zwischen den Gruppen	0,0000105	3	0,0000035	0,21724	(3:54)	-
		innerhalb der Gruppen	0,0008695	54	0,0000161		4,17	

Tab. 43 zeigt die Ergebnisse der Varianzanalyse von allen untersuchten Beständen des Kapitels 3.

* signifikant = +

nicht signifikant = -

4. DIE FRAGE DER BILDORTABHÄNGIGKEIT DER ABBILDUNGSBE- STIMMTEN SCHADSYMPTOME IM LUFTBILD

4.1. Einleitung

Dem Luftbildinterpreten ist bekannt, daß auf Luftbildern die Helligkeitsverteilung nicht gleichmäßig ist. Dies gilt sowohl für schwarz-weiße als auch für Farbluftbilder, tritt aber bei letzteren besonders deutlich in Erscheinung. Diese Feststellung drückt MAURER (1965) folgendermaßen aus: "Wer ein farbiges Luftbild etwas genauer betrachtet, wird beobachten, daß die Farben vor allem in den Randpartien anders erscheinen als in der Bildmitte. Mit dieser Feststellung wird einem auch plötzlich klar, vor was für einer schwierigen Aufgabe ein Luftbildinterpret steht, wenn er aus einer Farbigen Luftbildaufnahme z.B. die verschiedenen Landnutzungstypen kartieren soll".

Nach einer ausführlichen Untersuchung kam MAURER (1965) und in Zusammenarbeit mit STEINER, KILCHENMANN, MAURER (1966) zu folgender Feststellung, daß die Farbänderungen auf den farbigen Luftbildern von der Bildmitte zu den Randzonen hin durch Einflüsse von Kammeroptik, Filter und Geländereflexion zurückzuführen sind.

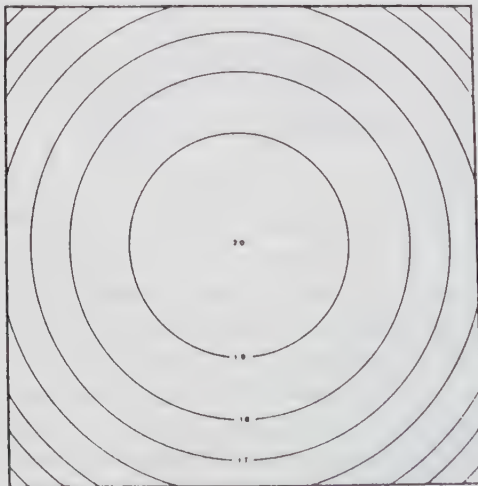


Abb. 63: "Log. Helligkeitsverteilung des Avignon- und Universalavignon-Objektivs" (Aus MAURER 1965, Fig. 34).

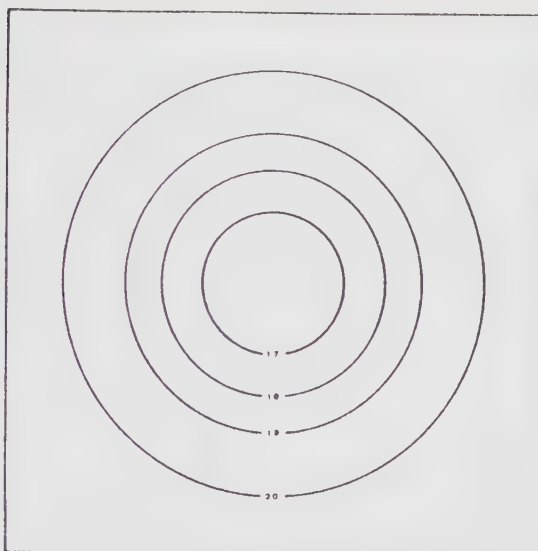


Abb. 64: "Log. Helligkeitsverteilung des Kompensationsfilters RC 5-1904, (= Emulsion)" (Aus MAURER 1965, Fig. 27).

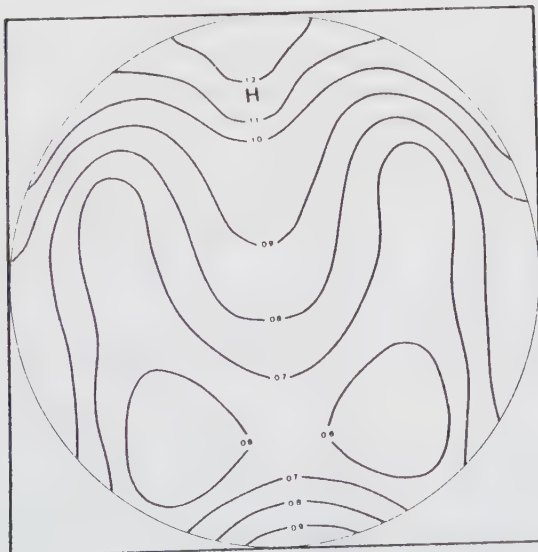
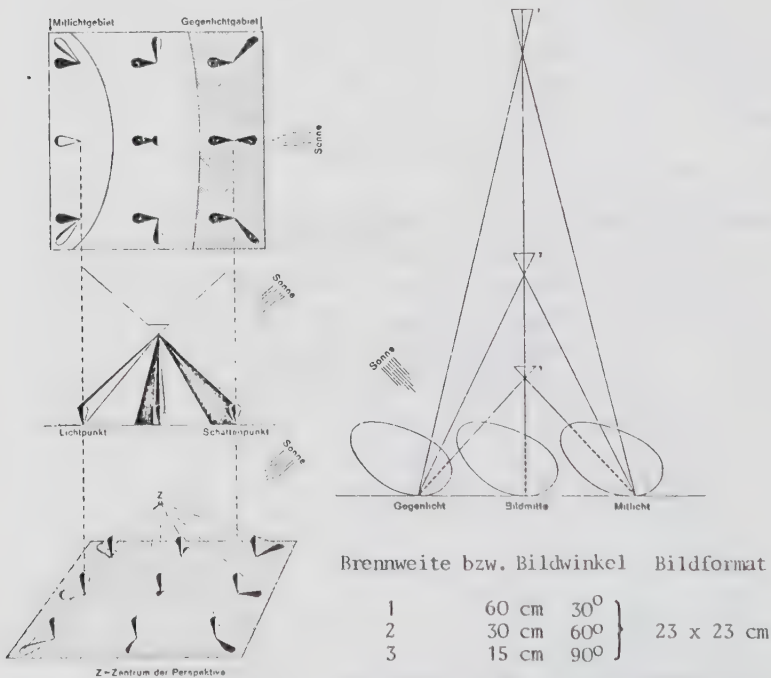


Abb. 65: "Geländereflexion für Winterweizen aus dem Ektachrome-Luftbild errechnet. Aufnahmedatum 4. Juni 1964, Sonnenhöhe = 60° H = Hotspot" (Aus MAURER 1965, Fig. 38).

Die Abbildungen 63, 64 und 65 aus MAURER (1965) zeigen modellhaft, wie unterschiedlich diese Einflüsse auf die Luftbilder wirken.

Bei direkter Sonneneinstrahlung kann man unter Berücksichtigung o.g. Einflüsse - Kammeroptik, Filter und Geländereflexion - ein Luftbild in drei Gebiete einteilen: Mitlichtgebiet, Mittenbereich, Gegenlichtgebiet (s. Abb. 66).



Die zentralperspektive Abbildung einseitig beleuchteter Geländeoobjekte und ihr Schlag-schatten in der Bild-ebene.

Die Erfassung der richtungsabhängigen Reflexion eines Geländeoobjekts mit ausgeprägter Raumstruktur (dargestellt durch die Reflexions-Verteilungskurve in der Einfallsebene der Sonnenstrahlung) durch die Zentralperspektive bei Objektiven verschiedener Brennweite.

Abb. 66: einschließlich Bildunterschrift aus MEIENBERG (1966).

Unter solchen Helligkeitsverhältnissen hat SCHADE (1976) eine "Untersuchung der Abhängigkeit verschiedener durch Digitale Auswertung von Infrarot-Farbluftbildern gewonnenen Texturparameter von Bildort und Relief", mit dem Densitometer-MACBETH TD-102 durchgeführt. Er stellte dabei fest, "daß besonders zwischen Bildmitte und Mitlicht - (ML) bzw. Gegenlichtbereich (GL) und bei gleichzeitigem Wechsel von Bildort und Relief einige signifikante Änderungen der Parameter an sich gleicher Objekte auftreten. Die allein reliefbedingten Varianten der Textur und der Unterschied zwischen Objekten im ML- und GL-Gebiet wirken sich dagegen weniger störend aus."

Im Zuge einer Arbeit zur Erkennung von Vitalitätsunterschieden an Kiefern durch digitale Auswertung von Infrarot-Farbluftbildern hat RONDE (1977) auch die Auswirkungen der Bildortabhängigkeit auf die Helligkeit und Farbanteile mituntersucht. Es wurden dafür in 80% längsüberdeckten IR-Farbluftbildern die Transmissionswerte für einen Kiefernaltbestand, eine Kieferndickung und eine kleine Rasenfläche mit nebenstehenden Raffineriebehältern mit dem Densitometer - MACBETH TD-102 gemessen. In dem vorhandenen Luftbild-Material waren der Kiefernaltbestand in sechs- und die Kieferndickung in dreizehn Luftbildern in verschiedenen Bildorten abgebildet. Die densitometrischen Messungen ¹⁾ erfolgten bei dem Kiefernaltbestand in allen sechs Bildern kronenweise, wobei die Kronengröße in einem dafür gefertigten Luftbildaufzeichnungsplan bestimmt wurde. Im Gegensatz dazu erfolgten die Messungen im Falle der Kieferndickung wegen der kleinen Kronengrößen entlang der Baumreihen schrittweise (in konstanten Abständen). Die Ergebnisse und deren Interpretation sind in RONDE's Dissertation ausführlich dargestellt. Sie sind im folgenden Zitat von RONDE (1977) zusammengefaßt:

1) Die hier vorgetragenen Erfahrungen über die Herstellung von Luftbildaufzeichnungsplänen (s. Kap. 2.2.) und Messungen mit dem Densitometer wurden vom Autor dieser Arbeit im Sommer 1974 bei der Durchführung von RONDES Arbeit gewonnen.

"Die Untersuchungen über die Helligkeitsverteilung und über die Verteilung der Farbanteile an denselben Objekten, aber in verschiedenen Bildorten des Luftbildes weisen auf die Schwierigkeiten einer quantitativen Luftbilddauswertung hin. Die vorliegenden diesbezüglichen Auswertungen beziehen sich wohl nur auf einzelne Bildorte des Luftbildes, die im Gegenlicht-, Bildmitten- und Mitlichtbereich liegen, aber ergänzende Querstreifen anderer Bildgestalten durch das Luftbild fügen sich in die Gesetzmäßigkeiten der Beleuchtungsverhältnisse innerhalb des Luftbildes ein.

Im großen und ganzen kann festgehalten werden, daß bezüglich der Helligkeitsverhältnisse im Gegenlichtbereich weitaus unterschiedlichere und schwierigere Verhältnisse vorliegen als in der Bildmitte oder im Mitlichtbereich. Die letzteren beiden Bereiche erweisen sich wegen ihrer geringeren Unterschiede und ihrer größeren Straffheit als die für die Auswertung geeignetsten Bildorte.

Sind einmal die Helligkeitsverteilungen einschließlich deren Farbanteile eines gleichen Objektes im Luftbild bekannt, so ließen sich die Helligkeiten unter Berücksichtigung der im Luftbild bestehenden Gesetzmäßigkeiten auf ein bestimmtes Niveau ausgleichen und hierdurch gelände- und luftbedingte Störfaktoren eliminieren, so daß generell bessere Korrelationen zwischen den Parametern einer Baumkrone und den densitometrischen Messungen zu erwarten sein dürften".

Die bisher genannten Autoren kamen zu den Ergebnissen, daß auf den Farbluftbildern die Helligkeitsverteilung von der Bildmitte zur Randzone dunkler wird (MAURER 1965), bzw. daß bedingt durch die unterschiedlich gerichtete Reflexion deutliche Helligkeitsunterschiede

im Mit- und Gegenlichtgebiet des Bildes vorliegen (ROHDE, 1977), ferner daß auch bei gleichzeitigem Wechsel von Bildort und Relief signifikante Änderungen der Helligkeitsparameter an sich gleicher Objekte auftreten (SCHADE 1976). Auch die Farbanteile der Abbildung ein und derselben Objekte sind an verschiedenen Bildorten unterschiedlich. Die führt bei der quantitativen Luftbildauswertung ebenfalls zu Schwierigkeiten (ROHDE 1977).

In diesem Kapitel - wie schon im Kap. 1.1. bei der Problemstellung geäußert wurde - wird eine Antwort auf folgende Frage gesucht:
S p i e l t f ü r d i e E r g e b n i s s e a u s d e n U n -
t e r s u c h u n g s b e s t ä n d e n I, II u n d III, IV
d i e B i l d o r t a b h ä n g i g k e i t e i n e R o l l e ?

Um diese Frage zu beantworten, werden im Kapitel 4.2. wiederum die densitometrischen Messungen von Kap. 2 (Feststellung des Absterbejahres bei den Kiefern) und Kap. 3 (Feststellung der kranken herangezogen. Es werden z.B. im Untersuchungsbestand I die lebenden bzw. toten Kiefern in den Luftbildern 089 und 090 quantitativ ausgewertet, d.h. nach Ermittlung der Diskriminanzfunktion wird die Varianzanalyse durchgeführt, ob v o n g l e i c h e n O b j e k -
t e n lebenden, toten, gesunden und kranken Kiefern gemessene Farbanteile signifikant sind. Ist das Ergebnis mathematisch positiv, so sind in den Bereichen, wo die Bestände im Luftbild sich befinden, Helligkeitsunterschiede zu verzeichnen. Ist das Ergebnis nicht signifikant, so gibt es in diesen Bereichen keine Helligkeitsunterschiede.

4.2. Die Ergebnisse der quantitativen A u s w e r t u n g a l l e r U n t e r s u c h u n g s - b e s t ä n d e

Es wird untersucht, wie sich eventuelle bildortabhängige Helligkeitsunterschiede auf die Wiedergabe verschiedener Schadsymptome auswirken.

Unter diesem Gesichtspunkt wird hier versucht Antworten auf folgende Fragen zu geben:

- a) Spielt die Bildortlage bei der Unterscheidung von toten und lebenden Kiefern eine Rolle?
- b) Hat die Bildortlage auf die Differenzierung von kranken und gesunden Kiefern einen Einfluß?
- c) Gibt es Unterschiede in der Farbwiedergabe desselben Objektes an verschiedenen Bildorten?

Zu a) Diese Frage wurde schon im Kap. 2.7.2. nach den Ergebnissen der Varianzanalyse (s. Tab. 29) mit *n e i n* beantwortet. Wenn man die Bildortlagen des Untersuchungsbestandes I in den Luftbildern 089 und 090 betrachtet (s. Abb. 44), erkennt man, daß dieser Untersuchungsbestand in beiden Bildern im Mittenbereich und nahe der Bildmitte abgebildet ist. Es waren deshalb hier keine Helligkeitsunterschiede zu erwarten. Dagegen konnte man beim Untersuchungsbestand II nach seiner Lage im Luftbild 128 Helligkeitsunterschiede gegenüber seiner Abbildung in Bild Nr. 127 erwarten. Im Bild 128 ist dieser Bestand ganz am Rande und in der Nähe der Luftbildecke abgebildet (s. Abb. 44). Nach der quantitativen Auswertung hatte sich herausgestellt, daß die Bildortlage zur Differenzierung von toten und lebenden Kiefern keine große Rolle spielt. Die Differenzen der Farbanteile zwischen lebenden und toten Kiefern sind so groß, daß sie sich in jedem Bestand unabhängig von der Bildortlage identifizieren lassen.

Zu b) Wie schon im Kap. 3.6. erwähnt wurde, befinden sich die Untersuchungsbestände III und IV in allen Luftbildern im Mittenbereich und - ausser im Luftbild Nr. 226 - in der Nähe des Bildmittelpunktes (vgl. hierzu Abb. 44). Deshalb stößt man bei der

Varianzanalyse von Untersuchungsbestand III in den Luftbildern 214, 215 und von Untersuchungsbestand IV im Luftbild 227 zur Unterscheidung von kranken und gesunden Kiefern auf keine Schwierigkeiten (s. Tab. 43). Dagegen kann man im Untersuchungsbestand IV im Luftbild Nr. 226, in welchem er ganz am Rand abgebildet wird (s. Abb. 44), die gesunden Kiefern nicht von den kranken differenzieren. Dies bestätigt auch das Ergebnis der Varianzanalyse (s. Tab. 43).

Das unterschiedliche Ergebnis bei den Fragestellungen a) und b) im Hinblick auf die beiden randständigen Abbildungen (vgl. Abb. 44) kann man theoretisch so erklären, daß die Farbanteile der kranken Kiefern näher bei denen der gesunden Kiefern liegen als bei denen der toten. Die Abbildungen der gesunden Kiefern enthalten einen höheren Rotanteil als jene der toten Kiefern. Der Rotanteil in der Abbildung kranker Kiefern liegt zwischen denen der gesunden und toten, jedoch näher dem Rotanteil der gesunden Kiefern. Bei Verschiebung des Bildortes von der Mitte zum Rand eines Luftbildes tritt eine Abdunkelung auf (vgl. MAURER 1965) und gleichzeitig eine Erhöhung des Rotanteils. Dies macht die Differenzierung zwischen gesunden und kranken Kiefern schwieriger bzw. sogar unmöglich. Eine Differenzierung von gesunden und kranken Kiefern ist aber auf Grund der größeren Farbdifferenzen zwischen diesen beiden Gruppen noch weiterhin möglich.

- Zu c) Um die Helligkeitsunterschiede in den vorhandenen Luftbildern festzustellen, wurden dieselben Objekte in zwei Luftbildern an verschiedenen Bildorten verglichen.¹⁾ Die Ergebnisse wurden in Tabelle 44 zusammengefaßt dargestellt.

1) Abb. 44 zeigt daß die einzelnen Untersuchungsbestände in den jeweils beiden Luftbildern zwar bezüglich ihrer Lage zum Bildmittelpunkt unterschiedlich liegen, jedoch jeweils im gleichen Lichtgebiet. Insofern ist das Untersuchungsmaterial für die vorliegende Fragestellung nicht ideal. Es mußte jedoch so, wie es ist, verwendet werden.

Unter- suchungs- bestand Nr.	Kronen- zustand	Luft- bild Nr.	densitometrische Messungen Arithmetische Mittelwerte von Farbanteilen in %			Ergebnisse der Varianzanalyse				F _{0,01}	Ergebnis*
			r	g	b	Variabilität	SQ	FG	NQ	F	
I	lebend	089	0,5324	0,1166	0,3510	zwischen den Gruppen	0,000034	3	0,000114	(3:89)	nein
		090	0,5060	0,1290	0,3650	innerhalb der Gruppen	0,00383	89	0,000044	4,01	(-)
	tot	089	0,4230	0,1580	0,4190	zwischen den Gruppen	0,000824	3	0,0002747	(3:29)	nein
		090	0,4100	0,1650	0,4250	innerhalb der Gruppen	0,01	29	0,000345	4,54	(-)
II	lebend	127	0,7220	0,0830	0,1950	zwischen den Gruppen	0,76981	3	0,2561	(3:48)	ja
		128	0,7920	0,0685	0,1395	innerhalb der Gruppen	0,243345	48	0,005064	4,22	(+)
	tot	127	0,5730	0,1610	0,2660	zwischen den Gruppen	0,141526	3	0,0471755	(3:12)	nein
		128	0,6210	0,1530	0,2260	innerhalb der Gruppen	0,1881	12	0,015675	5,95	(-)
III	gesund	214	0,7890	0,0930	0,1180	zwischen den Gruppen	0,0001466	3	0,0000489	(3:68)	nein
		215 ¹⁾	0,7825	0,0910	0,1265	innerhalb der Gruppen	0,002854	68	0,000042	4,08	(-)
	krank	214	0,7380	0,1040	0,1580	zwischen den Gruppen	0,0005327	3	0,0001776	(3:55)	nein
		215	0,7275	0,1025	0,1700	innerhalb der Gruppen	0,0061226	53	0,0001155	4,18	(-)
IV	gesund	226	0,8660	0,0766	0,0574	zwischen den Gruppen	0,30464	3	0,101548	(3:66)	ja
		227	0,8150	0,0820	0,1030	innerhalb der Gruppen	0,15194	66	0,002	4,10	(+)
	krank	226	0,8650	0,0720	0,0630	zwischen den Gruppen	2,05902	3	0,6863415	(3:47)	ja
		227	0,7650	0,0910	0,1440	innerhalb der Gruppen	0,40381	47	0,008592	4,22	(+)

Tab. 44 zeigt die Ergebnisse der Varianzanalyse von allen Untersuchungsbeständen je nach dem Vitalitäts-
zustand der untersuchten Bäume. (Nähere Erläuterungen siehe Seite 165, "zu c").

* (+) bzw. ja = für die Erkennung spielt bei diesem Vitalitätszustand die Bildortlage eine Rolle.

(-) bzw. nein = für die Erkennung spielt bei diesem Vitalitätszustand die Bildortlage keine Rolle.

Wie Tab. 44 zeigt, wurden Signifikanzprüfungen für denselben Kiefern-Kronenzustand in zwei Luftbildern durchgeführt. (Dagegen waren es im Kap. 2.7.2. und 3.6. in einem Luftbild zwischen zwei Gesamtheiten; entweder zwischen lebenden und toten oder zwischen gesunden und kranken Kiefern). In den Kap. 2.7.2. und 3.6. hat man ein positives Ergebnis der Varianzanalyse erwartet, um die vorhandenen Gesamtheiten voneinander unterscheiden zu können. Dies hat sich auch in 7 von 8 Luftbildern eingestellt (vgl. hierzu Tab. 29 und 43). Hier wird versucht, mit Hilfe der Varianzanalyse Helligkeitsunterschiede in einem Luftbild in verschiedenen Bildortlagen aufzuzeigen. Positive Ergebnisse repräsentieren deutliche Unterschiede in der Wiedergabe eines bestimmten Vitalitätszustandes bei Abbildungen an verschiedenen Orten im Luftbild.

Unter Berücksichtigung von Abb. 44 lassen sich aus Tab. 44 folgende Schlußfolgerungen ziehen:

- 1) Im Mittenbereich und in der Nähe der Bildmitte abgebildete Objekte weisen keine Helligkeitsunterschiede auf. (vgl. Tab. 44 - lebend in den Luftbildern 089/090, tot in den Luftbildern 089/090, gesund und krank in den Luftbildern 214/215).
- 2) Auch bei im Mitlichtgebiet nahe dem Bildrand abgebildeten toten Kiefern spielt der Bildort keine Rolle (vgl. Tab. 44, tot in den Luftbildern 127/128).
- 3) Lebende Kiefern, gleich ob gesund oder krank, weisen am Rande des Luftbildes - egal ob im Mittenbereich oder Mitlichtgebiet - starke signifikante Helligkeitsunterschiede auf. (Vgl. Tab. 44, lebend in den Luftbildern 127/128 und gesund + krank in den Luftbildern 226/227).

Ausgenommen bei den toten Kiefern spielt bei allen Vitalitätsstufen die Bildortabhängigkeit für die Wiedergabe der Helligkeit in einem

Luftbild eine große Rolle. Noch deutlichere Helligkeitsunterschiede wären zweifellos zu erwarten, wenn die Bestände einmal im Gegenlichtgebiet und ein anderes mal im Mitlichtgebiet gelegen hätten (vgl. hierzu Abb. 44 und Fußnote auf Seite 165).

5. PRAKTISCHE ERFAHRUNGEN BEI DER DURCHFÜHRUNG VON SCHAD- INVENTUREN UND HINWEISE FÜR DIE ANFERTIGUNG ENTSPRE- CHENDER GUTACHTEN

Erfahrungen über Luftbildinterpretationen für Schadinventuren sind gelegentlich zweier Gutachten, die der Autor dieser Arbeit als Koautor bearbeitete, gewonnen worden. Bei der Durchführung der beiden Gutachten wurde nur die klassische stereoskopische Luftbildinterpretation angewandt. Es handelte sich erstens darum "... den Gesundheitszustand der Wälder im Raum.... auf Grund zweier Luftbildinventuren im Jahre 1974 ¹⁾" festzustellen, zweitens, darum "die Entwicklung der Mortalität in den Wäldern im Raum.... zwischen 1974 und 1977 auf Grund von vier Luftbilddaufnahmen ²⁾", zu erfassen.

Die bei der Ausführung dieser Gutachten gemachten Erfahrungen lassen sich mit den vorliegenden Interpretationserfahrungen bei anderen Schadensfällen, z.B. durch Trockenheit, Insektenbefall usw. verbinden. Auf diese Weise wird es möglich, einige allgemeine Hinweise für die Durchführung von Schadinventuren durch Luftbildinterpretation und den zweckmäßigen Aufbau von entsprechenden Gutachten zu entwickeln. Dies wird im folgenden in gebotener Kürze getan. Dabei wird der empfohlenen Gliederung für ein solches Gutachten gefolgt.

a) Fragestellung

Die Fragestellung ist eindeutig und umfassend zu definieren. Es muß erkennbar werden, auf welchen Raum sich das Gutachten erstreckt und in großen Zügen welcher Art der betroffene Wald und der aufgetretene Schaden ist. Ferner ist zu erklären, aus welcher Situation heraus die

1+2) Die Gutachten wurden nicht veröffentlicht, jedoch sind sie in der Abteilung Luftbildmessung und -interpretation der Universität Freiburg nach Zustimmung durch den Auftraggeber einzusehen.

Fragestellung für das Gutachten entstanden ist. Gegebenenfalls ist zum Verständnis der Fragestellung auf die Vorgeschichte kurz einzugehen, falls dafür nicht ein gesonderter Abschnitt des Gutachtens notwendig wird.

Der Auftraggeber des Gutachtens ist zu erwähnen.

b) Standortverhältnisse des ganzen Untersuchungsgebietes

Entsprechend den gegebenen Umständen kann man vorhandene Literatur, vorliegende Standortskarten, Bodenkarten usw. heranziehen. Eigene Erhebungen, Beobachtungen oder Recherchen (z.B. bei Wetterämtern, Forstämtern usw.) müssen ggf. erfolgen.

b1) a) Topographie, b) Geologie, c) Hydrologie und d) Bodenverhältnisse.

b2) Klimadaten; a) Temperatur b) Niederschlag und c) Windverhältnisse (monatlich, jahreszeitlich oder jährlich)

Diese Daten können für die Aussagen des Gutachtens eine große Rolle spielen, wenn nach den Ursachen der festgestellten Schäden oder nach dem Gr und unterschiedlicher Schadbilder in Teilgebieten des Untersuchungsraumes gefragt wird. Beispiele: Auftreten von Trockenschäden in Abhängigkeit vom Standort; Beziehungen zwischen Schadensschwerpunkten bei Immissionsschäden, der Lage des Emittenten und der vorherrschenden Windverhältnisse usw.

b3) Wirtschaftliche Standortverhältnisse

Soweit es im Hinblick auf den zu untersuchenden Schaden relevant ist, müssen auch bestimmte wirtschaftliche Standortverhältnisse erfaßt und dargestellt werden. Dies wird z.B. im Falle von Immissionsschäden stets notwendig werden, um ein vollständiges Bild der Immissionsbelastung des Raumes, die Lage der Emittenten und die Art der Emissionen zu verdeutlichen. In anderen Fällen mag die Verkehrsdichte auf Straßen oder die sozioökonomische Struktur von Wohngebieten von Interesse sein.

c) Waldverhältnisse

c1) Allgemeine Beschreibung der Waldverhältnisse, der forstwirtschaftlichen Situation und der untersuchten Waldbestände.

Wie weit dabei zu gehen ist, hängt von der Fragestellung des Gutachtens ab. Gegebenenfalls kann dabei auch auf weitergehende Informationen in Forsteinrichtungswerken u.ä. verwiesen werden.

c2) Bekannte Waldkrankheiten und Schäden im Untersuchungsgebiet

Um den durch das Inventurergebnis des Gutachtens zu erfassenden Schaden gegenüber anderen schon bekannten - früheren oder gegenwärtigen - Schadenserscheinungen abgrenzen zu können, ist zu beschreiben welche biotische und abiotische Krankheiten bzw. Schäden in den letzten Jahren im Untersuchungsraum auftraten bzw. ihre Spuren hinterlassen haben. Chronische Schäden sind dabei besonders zu vermerken.

d) Aufnahmebedingungen

Bei der Durchführung einer Luftbildschadinterpretation ist einer der wichtigsten Faktoren die Luftbildaufnahme selbst. Bei der Wahl des Aufnahmematerials, des Maßstabs und des Aufnahmezeitpunktes sind Baumarten, phänologische Aspekte und die Art der Schaderscheinungen zu berücksichtigen.

Die Entscheidungen sind nach sorgfältigem Abwägen in der ersten Phase der Arbeiten zur Schadinventur zu treffen und im Gutachten selbst zu beschreiben, ggf. auch zu begründen. Im einzelnen mögen die folgenden stichwortartigen Hinweise zeigen, welche Entscheidungen nach Abwägen der jeweiligen Fragestellung und Gegebenheiten u.a. zu treffen sind.

d1) Auswahl des Filmmaterials

Z.B. um die Trockenschäden bei Laubbäumen sowie Fichten festzustellen: Farbluftbilder oder IR-Farbluftbild. Immissionsschäden an verschiedenen Baumarten: IR-Farbluftbilder. Feststellung von Windwurf, Schneebruch oder Waldbrand usw.: IR- oder Panchromatik-Schwarz-Weiss Luftbilder.

d2) Festlegung des Bildmaßstabes

Je nach der Fragestellung und Altersklasse der untersuchten Bäume, Bestände oder Waldgebiete kann man verschiedene Maßstäbe wählen. In allen Fällen, wo die Interpretation baumweise erfolgen soll oder durchgeführt werden muß, sind großmaßstäbige Luftbilder erforderlich z.B. bei der Feststellung des Gesundheitszustandes von Straßenbäumen, bei denen es sich hauptsächlich um Laubbäume handelt, soll er nicht kleiner als 1:10 000 sein. Zur Feststellung des Zustandes oder der Mortalität bei kleinkronigen Koniferen wird sogar ein Maßstab von 1:4000 bis 1:7000 zweckmäßig sein.

Für großräumigere Schadinventuren insbesondere bei epidemisch oder großflächig auftretenden Krankheiten oder Schäden ist in der Regel der Zustand ganzer Bestände zu interpretieren und zu klassifizieren. Hier sind kleinere Bildmaßstäbe ausreichend: je nach Situation 1:15000, 1:30000 oder noch kleiner (HELLER 1971); sogar von erfolgreicher Schaderkennung in LANDSAT-Bildern wurde berichtet (WEBER et al. 1975).

d3) Auswahl von Aufnahme- Jahres- und Tageszeit

Bei der Durchführung von Schadinventuren ist dies sehr wichtig, um für den Interpretationszweck optimal brauchbare Luftbilder zu erhalten. Es ist je nach Fragestellung nach dem Zeitpunkt der frühestmöglichen oder der sicheren Erkennung eines Schadbildes zu fragen. Je nach der Baumart und in Abhängigkeit von der Biologie der betroffenen Pflanzen sowie ggf. jener des Schädlings ist der geeignete Aufnahmezeitpunkt im Jahr zu bestimmen. Auf Grund der Erfahrungen aus den o.g. Gutachten ist z.B. zu empfehlen, daß bei immissionsgeschädigten Kiefern als Aufnahmezeitpunkt Mitte August gewählt wird. ¹⁾

Von Bedeutung ist in der Regel auch die richtige Wahl der Aufnahmezeit am Tage. Erfahrungsgemäß ist eine Aufnahme zwischen 11⁰⁰ und 13⁰⁰ zu empfehlen. Die zu früherer oder späterer Tageszeit auftretenden größeren Schatten erschweren fast stets die Interpretation von Schäden in Waldbeständen.

Bei der Darlegung der Ergebnisse einer Luftbild-Schadinventur, so auch bei einem abschließenden Gutachten oder bei sonstiger Veröffentlichungen sind die Aufnahmebedingungen und -daten auf alle Fälle mitzuteilen. Dies kann z.B. in der folgenden Form geschehen:

Tabelle 45: Technische Daten einer Luftbilddaufnahme (Beispiel).

Aufnahme-Kammer	Zeiss RMK 30/23 Topar A
Film	Kodak Aerochrome Infrared 2443
Filter	Watten Nr. 12
Aufnahmegebiet	A-Dorf (siehe Kartenbeilagen)
Aufnahmedatum	13.6.1977
Aufnahmetageszeit	Ca. 11 ⁰⁰ - 12 ³⁰ h
Flugstreifen	12
Richtung der Flugstr.	Ost-West, West-Ost
Längsüberdeckung	ca. 60%
Querüberdeckung	ca. 25%
Bildqualität	sehr gut
Freigabe Nr.	4431/77 Reg.Präs.Münster/W
Bemerkung	Zusätzliche Herstellung von Kontaktpapierabzügen schwarz/weiß, halbmatt

1) Über die Möglichkeit "previsueller" Erkennung von Waldschäden siehe HILLIEBRANDT (1977).

e) Durchführung der Schadinventur und Interpretation der Luftbilder

Die Durchführung der Interpretation und der dafür notwendigen Vorarbeiten wird von Fall zu Fall spezielle Züge je nach der Fragestellung, der allgemeinen Waldverhältnisse, der Schadensart und des Schadbildes im einzelnen, der verfügbaren Zeit und Mittel usw. aufweisen. Der hier beschriebene Weg zeigt jedoch einige Grundzüge, die eine gewisse Generalisierung erlauben. Danach sind folgende Schritte nacheinander zu empfehlen:

- Einteilung des Untersuchungsgebietes in kleinere Inventureinheiten
- Erste terrestrische Untersuchungen mit nachfolgender Schaffung eines spezifischen Interpretationsschlüssels
- Interpretation der Luftbilder
 - Entwicklung der Inventur- und Interpretationsmethode
 - Durchführung der Interpretation
- Zweite terrestrische Untersuchung = Interpretationskontrolle

Auch in diesem Falle gilt, daß im Gutachten eine ausreichende Darstellung der angewandten Methodik erfolgt. Gegebenenfalls sollte die gewählte Methode auch begründet werden.

Zu den einzelnen Schritten mögen die folgenden Bemerkungen noch zusätzliche Anregungen geben.

e1) Einteilung des Untersuchungsgebietes

Eine ggf. notwendige Unterteilung des Untersuchungsgebietes in kleinere Inventureinheiten kann oft den vorhandenen forstwirtschaftlichen Einteilungen folgen. Anderenfalls ist sie nach Gliederungsmerkmalen wie Waldtyp, Baumarten, Mischungsverhältnissen, Altersklassen, Schlußgradklassen oder auch geographischen Gesichtspunkten vorzunehmen.

Eine solche Einteilungsarbeit kann, wenn sie längere Zeit in Anspruch nehmen wird, auch nach den ersten terrestrischen Untersuchungen erfolgen.

e2) Erste terrestrische Untersuchungen

Die erste terrestrische Untersuchung ist für den Interpreten sehr wichtig um das Untersuchungsgebiet kennenzulernen, und um einen für das vorliegende Luftbildmaterial und die zu lösenden Aufgaben brauchbaren Interpretationsschlüssel zu erarbeiten.

Dies muß unmittelbar nach der Luftbildaufnahme und den Erhalt der Bilder durchgeführt werden, in jedem Falle bevor phänologische Veränderungen eintreten.

e3) Bearbeitung eines spezifischen Interpretationsschlüssels

Allgemeingültige Interpretationsschlüssel für Objekte bzw. Objektzustände, die sich durch Grautöne oder Farbwerte (Farbtöne, Helligkeit,

Sättigung) voneinander unterscheiden, sind problematisch. HILDEBRANDT ¹⁾ hat hierauf wiederholt hingewiesen. Für IR-Farbluftbilder gilt dies in besonderem Maße.

Wenn man verschiedene IR-Farbluftbilder, die vom selben Gebiet aber in zeitlichem Abstand aufgenommen worden sind, miteinander vergleicht, wird man feststellen, daß für die Bildserien der verschiedenen Befliegungen die Farbwiedergabe sowohl insgesamt als auch für einzelne Objekte unterschiedlich ist (sein kann).

Hierfür können verschiedene Ursachen verantwortlich sein: Unterschiedliche Sensibilität der Emulsionen auch bei gleichem Filmtyp, Sensibilitätsänderungen durch Altern des Films, oder die Art der Filmlagerung, unterschiedliche Filterung bei der Aufnahme, verschiedene Aufnahme-Jahres- und Tageszeit, unterschiedliche atmosphärische Bedingungen bei der Aufnahme, Einflüsse der Entwicklungsprozesse. Abgesehen davon treten auch in ein und demselben Bild bildortabhängige Helligkeits- oder Farbunterschiede auf (vgl. Kap. 4 oder auch ROHDE 1977).

Aus diesen Gründen kann man die Farbwiedergabe von einzelnen Objekten nicht für alle IR-Farbluftbilder generalisieren. Es ist unabdingbar notwendig für jede Befliegung einen neuen, spezifischen Interpretationsschlüssel zu erarbeiten, um zwischen dem Zustand der Bäume im Gelände zur Zeit der Aufnahme und ihrem Erscheinungsbild in den vorliegenden Aufnahmen eine verlässliche Beziehung zu finden (s. im Kap. 3, die Tabellen 30 und 31).

Es ist dringend zu empfehlen, daß der spezifische Interpretationsschlüssel vor dem oder den künftigen Interpreten der Luftbilder selbst entwickelt wird.

e4) Inventur- und Interpretationsmethode

Es wird wiederholt, daß die Inventurmethode nach der jeweils gegebenen Sachlage zu entwickeln ist. Neben den schon einleitend genannten Faktoren, sind dabei auch die Größe des Untersuchungsgebietes und ggf. die Anzahl der Wiederholungen der Befliegung bestimmend und im Gutachten anzugeben. Im einzelnen sind z.B. folgende Fragen zu entscheiden:

- Baumweise oder bestandesweise Interpretation?
- Interpretation durch Vollaufnahme oder Stichproben?
- Bezug des Schadbildes auf eine Flächeneinheit oder Angaben des Schadens in absoluten Zahlen?
- Einmalige oder sequentielle Luftbildaufnahme und -interpretation?

1) u.a. Vorlesung: Einführung in die Luftbildmessung und Luftbildinterpretation; Universität Freiburg 1964-1978 und persönliche Mitteilung.

- Interpretation nur der Mortalität oder nach differenzierten Schaderscheinungen (gesund, schwach geschädigt, stark geschädigt, tot)? usw. usw..

Es ist nicht Aufgabe dieser Arbeit, hier alle diese methodischen Einzelfragen zu diskutieren. Es sollen lediglich als Beispiel noch einige Erläuterungen zu der letztgenannten Frage angefügt werden.

Beispiel 1 : Inventur der Mortalität

Es werden bei dieser Methode nur die absterbenden und toten Bäume in den einzelnen Untersuchungsbeständen (Inventureinheiten) ausgezählt und in entsprechenden Listen registriert. Sie eignen sich besonders, wenn durch die Interpretation mehrerer in zeitlichem Abstand aufgenommener Bildserien die Entwicklung eines Schadbildes verfolgt werden soll.

Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit des Ergebnisses empfiehlt es sich die Interpretation mit zwei Interpreten, die unabhängig voneinander arbeiten, durchzuführen. Der Vergleich beider Interpretationsergebnisse erfordert dann ggf. im Einzelfall eine gemeinsame dritte Durchmusterung. Unstimmigkeiten und bleibende Unsicherheiten können bei der folgenden zweiten terrestrischen Arbeitsphase ausgeräumt werden.

Eine Inventur, die sich auf die Interpretation der Mortalität beschränkt, führt i.d.R. bei zuverlässigen Interpreten zu relativ sicheren und auch schnelleren Ergebnissen. Zu bedenken ist freilich, daß selbstverständlich nur die Mortalität der das obere Kronendach bildenden Bäume erfaßt wird.

Beispiel 2 : Inventur nach differenzierten Schaderscheinungen

Oft wird es die Fragestellung erfordern über eine bloße Inventur der Mortalität hinauszugehen. Es wird dann festzustellen sein wie groß die Anteile noch gesunder, schwach oder stark geschädigter und schon absterbender bzw. toter Bäume ist. Bei der Entwicklung des Interpretationsschlüssels ist in diesem Falle sehr sorgfältig zu prüfen ob und ggf. welche Differenzierungsmöglichkeiten im jeweils vorliegenden Falle möglich sind. Es ist im Interesse der Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu empfehlen, wenige aber sicher interpretierbare, grobe Klassen anstatt zahlreiche, unsicher ansprechbare zu bilden. Man muß sich vor Augen führen, daß es sich bei der Interpretation verschiedener Schadens- oder Krankheitsgrade um die Erkennung und Wiedererkennung i.d.R. feinsten Farbnuancen handelt.

Im Gegensatz zum ersten Beispiel sollte hier die Interpretation nur einem, aber erfahrenen Interpreten überlassen werden. Eine gewisse Subjektivität bei den Entscheidungen während der Interpretationsarbeiten ist nicht auszuschließen.

Die Schwierigkeit und Feinheit der Interpretationsarbeit legt es nahe in diesem Falle nur zufällig verteilte z.B. kreisförmige Stichprobenflächen zu interpretieren. Dies umgeht auch die manchmal gegebene Schwierigkeit einer bestandesweisen Flächenermittlung.

Eine Inventur nach differenzierten Schaderscheinungen ist besonders zu empfehlen, wenn vorhersehbar ist, daß nur eine einmalige Befliegung und Luftbilddaufnahme stattfindet.

f) Zweite terrestrische Untersuchung

Diese Untersuchung dient nach der Luftbilddauswertung (gleich welche Methode angewandt wurde) der Kontrolle der Interpretationsergebnisse und der Aufklärung zweifelhafter Interpretationsfälle.

g) Beurteilung und Darstellung der Ergebnisse der Schadinventur

Die Interpretationsergebnisse können n a c h der zweiten terrestrischen Arbeitsphase endgültig zum Ergebnis der Inventur verarbeitet werden. Oft wird es sich für die Auswertung und die Diskussion der Interpretationsergebnisse empfehlen, Mortalitäts- bzw. Schadensklassen zu bilden in die dann z.B. jede Inventureinheit eingestuft wird. Grundlage für die Klassenbildung kann unter Berücksichtigung der Baumarten, des Alters und der Schlußverhältnisse usw. der Inventureinheiten die Anzahl der toten resp. gesunden/kranken/toten Bäume je Flächeneinheit sein.

Im Falle einer sequentiellen Schadinventur, wo es z.B. darauf ankommen kann, die Entwicklung der Mortalität in einem Schadgebiet zu verfolgen (vgl. HILDEBRANDT-CAGIRICI 1978, CAGIRICI 1978), darf man die zwischenzeitlich stattgefundenen Durchforstungen in den Inventureinheiten nicht außer acht lassen. Die Bewertung einer solchen Entwicklung anhand von sequentiellen Interpretationsergebnissen wäre sonst nicht sinnvoll möglich. Das Beispiel in Abbildung 67 a und b mag dies belegen.

Die Darstellung der Inventurergebnisse richtet sich wiederum nach der Fragestellung und der Größe des Inventurgebietes. Als allgemeine Regel sollte gelten, die Ergebnisse nicht nur in beschreibender und tabellarischer Form sondern auch bildhaft darzustellen. Es kann sich dabei um graphische Abbildungen (vgl. Abb. 67 oder HILDEBRANDT/CAGIRICI 1978), kartographische Darstellung nach Inventureinheiten (vgl. KADRO 1973, KENNEDY 1973, HILDEBRANDT/CAGIRICI 1975), kartographische Darstellungen nach Schadenszonen (vgl. PAPESCH und SCHNOPF 1977), oder auch um unmittelbare Luftbildbelege sowie zusätzlich um terrestrische Photographien handeln.

h) Zusammenfassung und Empfehlungen

Jedes Gutachten bzw. jede Veröffentlichung über Ergebnisse von Luftbild-Schadinventuren ist mit einer Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse abzuschließen. Sofern sich Empfehlungen oder sonstige Konsequenzen aus den Inventurergebnissen ableiten lassen, so sollten diese in die Zusammenfassung eingearbeitet werden, sofern sie nicht in einem gesonderten Kapitel darzustellen sind.

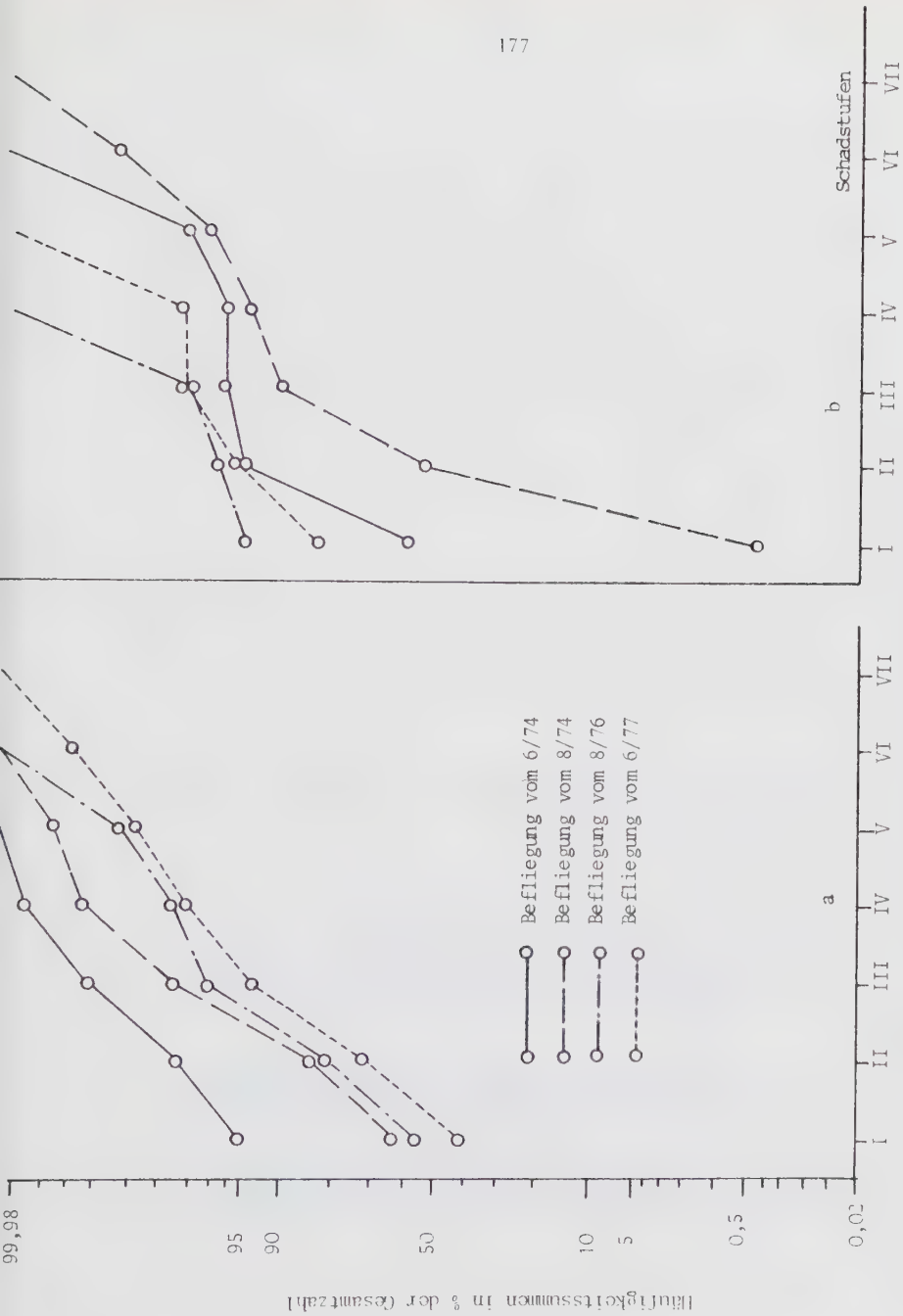


Abb. 67a und b: Entwicklung der prozentualen Verteilung der Flächen eines Inventurgebietes nach Schadstufen (I-VII) innerhalb von 5 Jahren. a: Ergebnisse für nichtdurchforstete, b: Ergebnisse für die zwischen 8/74 und 8/76 durchforsteten Bestände. (ordinatenachse nach dem Gauß'schen Integral, geteilt Dr. August Beckel, Disseldorf).

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die Umwelt des Menschen wird durch Industrialisierung zunehmend gefährdet. Die rechtzeitige Erkennung sich anbahnender Gefahren und die Abschätzung schon eingetretener Schäden sowie die Beobachtung von Schadensentwicklungen erfordert rasch aber umfassend und zuverlässig arbeitende Inventursysteme. Die Fernerkundung, speziell auch die klassische Luftbildinterpretation kann hierzu Wesentliches beitragen. In diesem Zusammenhang ist die vorgelegte Arbeit zu sehen. Mit ihr soll ein Beitrag zur Methodik der Luftbildinterpretation und zur Prüfung des sicheren Informationsgehalts von Infrarot-Farbluftbildern geleistet werden.

Es wird in dieser Arbeit versucht, mit Hilfe eines automatischen Farbmeßgerätes objektiv den Gesundheitszustand, der für mitteleuropäische Verhältnisse wirtschaftlich wichtigen Baumart Kiefer (*pinus sylvestris*) festzustellen. Zur Farbmessung wurde das Densitometer MACBETH TD-102 eingesetzt.

Die untersuchten Waldbestände befinden sich am Rande der nördlichen Grenze des Ruhrgebietes, die schon seit längerer Zeit unter dem Einfluß mehrerer Emitenten leiden.

Diese Bestände wurden auf den Infrarot-Farbluftbildern ausgewählt und nach zwei verschiedenen Kriterien untersucht:

- a) Kiefernbestände, in denen die abgestorbenen Kiefern auf den IR-Farbluftbildern in verschiedenen Farben - hellgrün, grün, blau, grau - abgebildet wurden,
- b) Kiefernbestände, in denen die kranken Kiefern gegenüber den gesunden drastische Farbdifferenzen aufwiesen.

Die terrestrischen Untersuchungen umfaßten folgende Arbeiten; Feststellung des Absterbejahres von Kiefern mittels Bohrspanentnahme, die

30-40 Jahre erfaßte; visuelle Beschreibung der einzelnen Kronenzustände; Ermittlung der Baumhöhe. Bei kranken Kiefern erfolgte nur eine terrestrische Kontrolle auf Bestätigung der visuellen Luftbildinterpretation.

Bei den von den Untersuchungsbäumen entnommenen Bohrspänen wurden mit einem elektronischen ADDO-Jahrringmeßgerät die jüngsten 30-35 Jahrringe gemessen, um bei den toten Kiefern das Absterbejahr und bei den lebenden Kiefern eine langjährige mittlere Jahrringbreite festzustellen.

Bei den für die Feststellung des Absterbejahres ausgewählten Kiefern und die für einen Vergleich in der Nachbarschaft stehenden lebenden Kiefern wurden mit dem MACBETH TD-102 Densitometer k r o n e n - w e i s e die Transmissionswerte gemessen, diese in spezielle Farbanteile rot (r), grün (g) und blau (b) umgerechnet und graphisch dargestellt. Diese Darstellungen wurden mit den Ergebnissen der Bohrsplanuntersuchungen verglichen und ergaben folgendes:

- a) Es ergaben sich keine eindeutigen Beziehungen zwischen dem Absterbejahr und der Farbwiedergabe einer Kiefernkrone im Luftbild.
- b) Tote und lebende Kiefern eines Bestandes lassen sich anhand unterschiedlicher Farbwiedergabe auf dem IR-Farb-Luftbild sowohl qualitativ - mit der densitometrischen Messung - als auch quantitativ - über Diskriminanz- und Varianzanalyse der Farbanteile r, g, b - deutlich unterscheiden.
- c) Die Trennung der toten von den lebenden Kiefern ist unabhängig von der Bildortlage möglich.
- d) Die densitometrischen Messungen zeigen eindeutig die höheren Rotanteile (r) lebender, und die höheren Blauanteile (b) abgestorbener Kiefernkrone.

Zur Differenzierung von kranken und gesunden Kiefern wurde das Densitometer in der gleichen Weise eingesetzt wie zuvor und führte zu folgenden Ergebnissen:

- a) Die Erkennung von kranken Kiefern auf den IR-Farbluftbildern durch Farbmessungen ist stark abhängig von der Bildortlage.
- b) Kranke Kiefern bilden in ihren Farbanteilen gegenüber den gesunden Kiefern Teilkollektive (wie lebende gegenüber toten Kiefern).
- c) Die Trefferquote für die Identifizierung von kranken und gesunden Kiefern in der Bildmitte beträgt bei kranken Kiefern ca. 71-85% und bei gesunden Kiefern ca. 61-64%.
- d) Am Bildrand lassen sich dagegen nur 0-40% der kranken und 0-31% der gesunden Kiefern der jeweiligen Klasse zuordnen.

Schließlich wurde auch untersucht, in wie weit die Bildortlage bei der Erkennung und Unterscheidung gesunder, kranker und toter Kiefern eine Rolle spielt. Hierzu wurden die Meßergebnisse der oben genannten Untersuchungen mit Hilfe einer Diskriminanz- und Varianzanalyse geprüft, die folgende Ergebnisse lieferte:

- a) Im Mittenbereich und in der Nähe der Bildmitte abgebildete Objekte treten keine Bildortabhängigkeit auf.
- b) Bei im Mitlichtgebiet nahe dem Bildrand abgebildeten toten Kiefern spielt der Bildort keine Rolle.
- c) Lebende Kiefern, gleich ob gesund oder krank, weisen am Rande des Luftbildes - egal ob im Mittenbereich oder Mitlichtgebiet - starke signifikante Helligkeitsunterschiede auf.

Als letztes wurden aus Anlaß zweier Gutachten und weiterer Interpretationsarbeiten die Erfahrungen aus solchen Schadinventuren stichwortartig beschrieben und als Empfehlungen für einschlägige Gutachten dargestellt.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Häufig verwendete Abkürzungen:

AFJZ	= Allgemeine Forst- und Jagdzeitschrift
AFZ	= Allgemeine Forstzeitschrift
BuL	= Bildmessung und Luftbildwesen
Dipl. Arbeit	= Diplom Arbeit
Diss.	= Dissertation

LITERATUR

- ABETZ, P.: Die Genauigkeit der Radialzuwachs- und Jahrringbreitenmessung mit der Eklundschen Jahrringmeßmaschine an Stammscheiben und Bohrspänen. AFJZ, 1960, S. 74-80.
- AKCA, A.: Eine Untersuchung zur Unterscheidung und Identifizierung einiger Objekte auf Schwarz-Weiss-Luftbildern durch quantitative Beschreibung der Photographischen Textur. Diss., Freiburg 1970.
- BAUMANN, H.: Forstliche Luftbildinterpretation. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Bad.-Würt., Band 2, Tübingen-Bebenhausen 1957.
- BOEHMERLE, K.: Die Dürreperiode 1904 und unsere Versuchsbestände. Zentralblatt f.d. Geschichte Forstwesen 33, 1907, S. 192-208.
- CAGIRICI, M.: Die Beobachtung der Entwicklung von chronischen Waldschäden durch Interpretation von IR-Farbluftbildern. Beitrag zum ISP + IUFRO Symposium, Freiburg, 1978 (Veröffentlichung vorgesehen).
- COLWELL, R.N.: Determining the Prevalence of certain cereal crop diseases by means of aerial photography. Hilgardia 26 (5), 1956.
- CORTEN, F.L.: Physik des Luftbildes in "richtigen" und "falschen" Farben. BuL. 1966, S. 191-201.

- Deutscher Wetterdienst: Deutsches Meteorologisches Jahrbuch BR, Offenburg a.M. 1953-1974
- DJAWADI, K.: Eine photogrammetrische Methode zur digitalen Erfassung und Charakterisierung der Oberflächen-gestalt von Waldbeständen. Diss., Freiburg 1977.
- EKLUND, Bo.: Ett försök att numeriskt fastställa Klimatets inflytan på tallens och granens radietillväxt vid de båda finska riksskogstaxeringarna-Norrland. skogsv. tidskr., häfte II, 1944.
- EKLUND, Bo.: Om granens årsringsvariationer i mellersta Norrland och deras Samband med klimatet. (The Annual Ring Variations in Spruce in the Centre of Northern Sweden and their Relation to the Climatic Conditions). Mebbelanden Fr. st. Skogsforskningens INSTITUT, Band 17, 1957, S. 1-63.
- Fa. FACIT AB. Gerätebeschreibung des Jahrringmessgerätes ADDO, 5403/44 und 2403/83-1. Geduckt in Schweden, Stenström & Bartdson, Malmö 3157 71.
- FLURY, E.: Über gewisse Störungen in der Jahrringbildung. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen 77, 6, S. 141-146.
- HARTIG, R.: Das Aussetzen der Jahrringe bei unterdrückten Stämmen. Zeitschrift f. Forst- u. Jagdw. I, 1969, S. 471-476.
- HASELHOFF, E.: Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Leipzig 1903.
- HELLER, R.C., u.a.: An evaluation of aerial photography for detecting southern pine beetle damage. Photogramm. Engng. 25(4), 1959, S. 595-606.
- HELLER, R.C.: Large-scale photo assessment of smog-damaged pines. In: "New horizons in color aerial photography" Seminar Proc. Amer. Soc. of Photogrammetry and Soc. of Photographic. Scientists and Engin. 1969, 423 pp.
- HELLER, R.C.: Color and false-color photography; Its Growing Use in Forestry. Application of Remote Sensing in forestry, Freiburg 1971, S. 37-55.

- HESMER, H.: Wald und Forstwirtschaft in Nordrhein-Westfalen
Verlag M. und H. Schaper, Hannover 1958.
- HILDEBRANDT, G.: Vom ersten Luftbild bis zur Stallitenphotogrammetrie.
Deutscher Forstverein, Jahresbericht 1966, S. 121-141.
- HILDEBRANDT, G. u. KENNEWEG H.: Einige Anwendungsmöglichkeiten der Falschfarbenphotographie im forstlichen Luftbildwesen.
AFJZ, 139, Jg. 1968, S. 205-213.
- HILDEBRANDT, G. u. CAGIRICI, M.: Gutachten über den Gesundheitszustand der Wälder Raume (.....) aufgrund zweier Luftbildinventuren im Jahre 1974. Freiburg 1975. (unveröff.).
- HILDEBRANDT, G.: Die Bedeutung der Fernerkundung für Forstwirtschaft und Forstwissenschaft.
Vorträge der 36. Photogrammetrischen Woche, Stuttgart 1977, S. 187-206.
- HILDEBRANDT, G. u. CAGIRICI, M.: Gutachten aufgrund von vier Luftbildaufnahmen. Die Entwicklung der Mortalität in den Wäldern im Raum (.....) zwischen 1974 und 1977. Freiburg 1978. (unveröffentl.).
- KADRO, A.: Die Auswertung von IR-Farbluftbildern für eine Inventur des Vitalitätszustandes der städtischen Straßenbäume in Freiburg i.Br.
Dipl. Arbeit, Freiburg 1973(unveröff.).
- KADRO, A. u. KENNEWEG, H.: Das Baumsterben auf den Farb-Infrarotluftbildern. Das Gartenamt. Sonderdruck aus Heft 3, 1973, S. 149-157.
- KENNEWEG, H. Auswertung von Farbluftbildern für die Abgrenzung von Schädigungen an Waldbeständen.
BuL., 1970, S. 283-290 m. Farbbeilage.
- KENNEWEG, H.: Color and false color photography: its growing use in forestry - a European view.
Application of Remote Sensors in Forestry, Freiburg, 1971, S. 57-73.
- KENNEWEG, H.: Die Verwendung von Farb- und Infrarot-Farbluftbildern für Zwecke der forstl. Photo-Interpretation unter besonderer Berücksichtigung der Erkennung und Abgrenzung von Kronenschäden in Fichtenbeständen.
Diss., Freiburg, 1972.

- KENNEWEG, H.: Interpretation von Luftaufnahmen für die Erforschung und Gestaltung von Vegetationsbeständen in westdeutschen Ballungsräumen. Proceeding, Symposium IUFRO-Subject-Group Remote Sensing, Freiburg, 1973, S. 87-115.
- KENNEWEG, H.: Unterlagen zum Kursthema Waldschadensinventur. Schulungs- und Fortbildungskurs des Arbeitskreises für forstl. Luftbild- und Kartenwesen, Bonn-Bad Godesberg, 1977 (unveröff.).
- KERN, K.G. u. MOLL, W.: Der jahreszeitliche Ablauf des Dickenwachstums von Fichten verschiedener Standorte im Trockenjahr 1959. AFJZ, 1960, S. 97-116.
- KILCHENMANN, A.: Klassifikation von landwirtschaftlichen Kulturen auf pankromatischen Farb- und "False-Color" Luftbildern mit Hilfe von Densitometermessungen und Computer. Mitt. aus dem Geograph. Institut der Universität Zürich, Dezember 1965.
- KODAK, A.G.: Macbeth Quantalog Densitometer. Gerätebeschreibung, T-5662-1169 M.
- LUX, H.: Ergebnisse von Zuwachsuntersuchungen (Bohrspananalysen) im Rauchschadensgebiet Dübener Heide. Archiv f. Forstwesen, 14. Band, 1965, S. 1103-1121.
- MAURER, H.: Untersuchungen zur Unterscheidbarkeit landwirtschaftlicher Kulturen im farbigen Luftbild. Diss., Philosoph. Fak. II der Universität Zürich, 1965.
- MEIENBERG, P.: Die Landnutzungskartierung von Pan-, Infrarot- und Farbluftbildern. Münchner Studien zur Sozial- und Wirtschaftsgeographie, Kallmünz/Regensburg, 1966.
- MITSCHERLICH, G.: Wald, Wachstum und Umwelt. Band III, Boden, Luft und Produktion. 1975, S. 215ff.
- MYERS, V. et al.: Manual of Remote Sensing, Chapter 22: Crops and Soils, 1975, S. 1715-1814.
- PAPESCH, E. u. SCHNOPFHAUSEN, S.: Luftgüte und Wald in der Steiermark. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz 1977.
- POLLANSCHÜTZ, J.: Erste Ergebnisse über die Verwendung eines Infrarot-Farbfilmes in Österreich für die Zwecke der Rauchschadensfeststellung. Zentralblatt f.d. gesamte Forstwesen 85, 1968, 2, S. 65-79.

- PRODAN, M.: Forstliche Biometrie.
München, 1961.
- ROHDE, H.: Ein Leuchtkasten für die Interpretation von Luftbild-Diapositiven im Feld.
AFZ, 30. Jahrgang, 1/2, 1975, S. 28.
- ROHDE, H.: Untersuchungen zur Erkennung von Vitalitätsunterschieden an Kiefern durch digitale Auswertungen von Infrarot-Farbluftbildern.
Diss., Freiburg, 1977.
- RUBNER, K.: Das Hungern des Cambiums und das Aussetzen der Jahrringe.
Naturwiss. Zeitschrift f. Forst- und Landwirtschaft 8, 1910, S. 212-222.
- SCHADE, J.: Untersuchung der Abhängigkeit verschiedener durch digitale Auswertung von Infrarot-Farbluftbildern gewonnenen Texturparameter von Bildort und Relief.
Dipl. Arbeit, Freiburg, 1976 (unveröff.).
- SCHNEIDER, S.: Luftbild und Luftbildinterpretation.
Walter de Gruyter, Berlin, New York 1974, S. 143ff.
- SCHOEDLER, J.R. Landnutzungsinterpretation mit Hilfe farbiger Luftbilder im Unterwallis.
Diss., Zürich 1973, S. 61-67.
- SCHROEDER, J. v. und REUSS, C.: Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauch-Schäden.
Berlin 1883.
- SCHWAPPACH, A.: Über den Gang des laufenden jährlichen Zuwachses in Buchenbeständen.
Zeitschrift f. Forst- und Jagdwesen, 1904, S. 562.
- STEINER, D., MAURER, H. u. KILGHEIMANN, A.: Quantitative Auswertung von Farb-Luftbildern zur Identifizierung landwirtschaftlicher Kulturen.
BuL, 1966, S. 47-56.
- TANDON, M.N.: Untersuchungen zur Stammzahlermittlung auf Luftbildern und darauf aufbauender Holzvorratsbestimmung.
Diss., Freiburg, 1974.
- THORLEY, et al.: Manual of Remote Sensing - Chapter 17.
Forest Lands: Inventory and Assessment, 1975, S.1353-1426.

- TZSCHUPKE, W.: Farbmessungen an Luftbildern für vegetationskundliche Zwecke.
BuL, 1973, S. 12-20.
- TZSCHUPKE, W.: Untersuchungen zur automatischen Identifizierung forstlich bedeutsamer Bildgestalten durch digitale Auswertung von an Infrarot-Farbluftbildern gemessenen Farb- und Texturparametern.
Diss., Freiburg, 1974.
- VINS, B.: Verwendung der Jahrringanalysen zum Nachweis von Rauchschäden. Teil 1. (Methodischer Beitrag zur Bearbeitung der Jahrringanalysen).
Lesnictri. 8, 1961 a, S. 753-770.
- VINS, B.: Störungen in der Jahrringbildung durch Rauchschäden.
Naturwissenschaften 48, 1961 b, S. 484-485.
- VINS, B.: Störungen in der Jahrringbildung als Fehlerquellen bei der Zuwachsbohrung.
Mittl. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen, 1966 S. 217-232.
- VINS, B.: Foundations, methods and use of tree-ring analyses on cores extracted by an increment borer.
UNESCO Nat. Resources Research-V, 1968.
- VINS, B. und MRKVA, R.: Zuwachsuntersuchungen in Kiefernbeständen in der Umgebung einer Düngerfabrik.
Mitteilungen der forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 1972, S. 173-194.
- WACHTER, A.: Der Einsatz des Luftbildes bei der Abgrenzung und Klassifizierung von Tannenschäden.
Schulungs- und Fortbildungskurs des Arbeitskreises für forstl. Luftbild- und Kartenwesen, Bonn-Bad Godesberg 1977 (unveröff.).
- WEBER, E.: Grundriß der biol. Statistik,
Fischer-Verl. Jena 1964, 5. Auflage.
- WEBER, F.P. et al.: Pacific southwest, Forest and Range Experiment Station. Forest stress Detection, 1975, S. 44-63.
- WEINIE, J.: Die Schwankungen des Durchmesserzuwachses in badi-schen Fichtenbeständen in der Zeit von 1945 bis 1954.
AFJZ, 1958, S. 233ff.

- WENTZEL, K.F.: Über die Regelung eines Rauchschadensfalles in der Praxis.
AFZ 13, 1958, S. 606-613.
- WENTZEL, K.F.: Die Pflege der besiedelten Landschaft.
Handbuch für Landschaftspflege und Naturschutz,
3. Band, 1969, S. 1-25.
- WERT, S.L.: A system for using remote sensing techniques to detect and evaluate air pollution effects on forest stands.
Sixth Internatl. Symposium on Remote Sensing of Environment Proc., 1969, S. 1169-1178.
- WOLFF, G.: Luftbilder als diagnostische Hilfsmittel für operative Arbeiten beim Forstschutz (Rauchschaden) und bei der Bestandesdüngung.
Die soz. Forstwirtschaft, 16, 1966, S. 140-143.
- WOLFF, G.: Die Farbe als neues Element bei der Luftbilderkundung intensiv bewirtschafteter Wälder.
Archiv. f. Forstwesen, 1967, S. 923-926.
- WOLFF, G.: Kronenschäden an Fichten im StFB Marienberg und ihre Diagnose im Falsch-Farbenluftbild.
Sonderdruck aus "Sozialistische Forstwirtschaft", Jahrgang 17,5/1967.
- WOLFF, G.: Möglichkeiten und Grenzen der Interpretation falschfarbiger Luftfotos bei der Zustandsinventur intensiv bewirtschafteter Wälder.
In: Bericht des III. Int. Symp. f. Photointerpretations, Dresden, 1970, ersch. Leipzig 1971, S. 181-192.

LEBENS LAUF

Am 10.9.1951 wurde ich in Taslıhtyık - einem Dorf in der Provinz Sivas - als viertes von sechs Kindern der Eheleute Bäckermeister Ibrahim und Fatma geborene Sahin, geboren.

Nach der Volksschule besuchte ich vom August 1962 bis Juni 1965 die Mittelschule und anschließend das Gymnasium in Sivas, das ich im August 1968 mit dem Abitur abschloß.

Nach der Universitäts-Aufnahmeprüfung im August 1968 immatrikulierte ich mich im Wintersemester 1968/69 für das Studium der Forstwissenschaften an der Istanbuler Universität. In den Semesterferien 1971 arbeitete ich drei Monate als Forstpraktikant im Forstamt Schweinfurt - FD Würzburg - und in den Sommerferien 1972 vier Monate bei der Forstdirektion Koblenz. Dies gab mir die Gelegenheit, meine Schulkenntnisse der Deutschen Sprache zu verbessern und zu praktizieren. Im Wintersemester 1972/73 lernte ich an der Forstwissenschaftlichen Fakultät Herrn Professor Dr. G. Hildebrandt kennen, der zu dieser Zeit als Gastprofessor an unserer Universität tätig war. Nach Beendigung der Pflichtsemester verbrachte ich mit Hilfe von Professor Dr. Hildebrandt nochmals sieben Monate als Praktikant bei der o.a. Forstdirektion in Koblenz.

Am 31. Oktober 1973 schloß ich mein Studium mit dem Titel des Diplom-Forstingenieurs (Orman Yüksek Mühendisti) an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Istanbul ab. Gleich nach dem Staatsexamen war ich bis Juni 1974 wiederum als Praktikant an der FD Koblenz tätig. Seit Juni 1974 arbeite ich im Institut für Forsteinrichtung und Betriebswirtschaft, Abteilung Luftbildmessung an der Universität Freiburg unter Leitung von Professor Dr. G. Hildebrandt dank eines Stipendiums der Friedrich-Ebert-Stiftung als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand.

